

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

«На правах рукопису»
УДК 681.5

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: Адаптивний електропневмопривід маніпулятора

Виконав: студент 2 курсу, групи МА-31мп
(шифр групи)

Мазасв Гліб Станіславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник д.т.н., професор Узунов Олександр Васильович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та 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)

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

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Мазаєву Глібу Станіславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації _____ Адаптивний електропневмопривід маніпулятора

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

затверджені наказом по університету від «07 » листопада 2024 р. №5000-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження вплив маси на прискорення при різних значеннях
площі перерізу камери розподільника

4. Вихідні дані Кінематична схема збалансованого маніпулятора _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Аналіз існуючих систем та огляд
автоматизації в пневматиці, розробка математичної моделі, проведення
дослідження, розробка алгоритму керування, SWOT аналіз технічного рішення,
перевірити дотримання необхідних умов праці _____

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу кінематична та принципова схеми, складальне креслення, алгоритм керування, результати моделювання, результати дослідження, _____

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Дата видачі завдання 16 вересня 2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Інформаційний пошук інформації про автоматизовані системи керування маніпуляторів	22.09.2024	Виконано
2	Огляд проблеми відриву вантажу при швидкому русі робочого органу	26.09.2024	Виконано
3	Розробка мети та задач дисертації	28.09.2024	Виконано
4	Математичне моделювання процесу руху поршня пневматичного приводу	16.10.2024	Виконано
5	Дослідження впливу маси на прискорення при різних площах дроселюючих отворів розподільника	31.10.2024	Виконано
6	Розробка алгоритму керування на базі проведеного дослідження	13.11.2024	Виконано
7	Підбір обладнання та реалізація компонування	22.11.2024	Виконано
8	Розробка Стартуп-Проекту	29.11.2024	Виконано
9	Перевірка дотримання необхідних умов праці під час роботи з маніпулятором	02.12.2024	Виконано
10	Розробка креслень та графічних матеріалів	15.12.2024	Виконано

Студент

Мазаєв Гліб

Керівник

Узунов Олександр

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: Адаптивний електропневмопривід маніпулятора _____

Київ – 2024 рік

РЕФЕРАТ

У магістерській дисертації розглянуто проблему відриву вантажу при великому прискоренні робочого органу через нечутливість автоматизованої системи до маси вантажу. Вирішення проблеми досягнуто через впровадження адаптивної системи керування приводом маніпулятора. Розроблено математичну модель пневматичного приводу у середовищі MATLAB SIMULINK. Результати її тестування показали відповідність до реальних фізичних процесів, що проходять під час роботи приводу. Було проведено моделювання процесу руху поршня пневматичного циліндру при заданих вхідних параметрах моделі. Результати дослідження цього процесу допомогли виявити діапазон мас вантажу, при яких сила, що діє на масу під час руху маніпулятора більша за силу утримання вантажу. Таким чином, розроблена математична модель дозволяє перевіряти подібні системи на знаходження «проблемних» діапазонів мас для маніпуляторів з вакуумними захоплювальними пристроями.

Для вирішення проблеми була розроблена удосконалена система керування, а саме, забезпечена адаптація до маси вантажу, який переміщується, за рахунок використання додаткового датчику тиску, встановленого у поршневій камері циліндру, а також пропорційного розподільника для керування пневмоциліндром, який забезпечує потрібні характеристики руху. Отримані дані були використані при розробці алгоритму керування електропневматичним приводом.

Ключові слова: *пневматичний привід, дослідження прискорення, математичне моделювання, моделювання руху, сила утримання, алгоритм керування, удосконалена система.*

ABSTRACT

The master's thesis addresses the problem of cargo detachment under high acceleration of the working unit due to the automated system's insensitivity to the cargo's mass. The problem was resolved by implementing an adapting system of an adaptive control system using the manipulator drive. A mathematical model of the pneumatic drive was developed in MATLAB SIMULINK. Testing results confirmed the model's correspondence to the real physical processes occurring during the drive's operation.

The piston movement process of the pneumatic cylinder was simulated using specified model input parameters. The study's results helped identify the range of cargo masses where the force acting on the load during the manipulator's motion exceeds the holding force. Thus, the developed mathematical model allows for verifying such systems to detect "problematic" mass ranges for manipulators with vacuum gripping devices.

To address the issue, an improved control system was developed, providing adaptation to the mass of the cargo being moved. This was achieved by incorporating an additional pressure sensor installed in the cylinder's piston chamber and a proportional distributor to control the pneumatic cylinder, ensuring the required motion characteristics. The obtained data were used in developing a control algorithm for the electro-pneumatic drive.

Keywords: *pneumatic drive, acceleration study, mathematical modeling, motion simulation, holding force, control algorithm, improved system.*

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ...	9
1.1. Термінологія та історія.....	9
1.2. Переваги та недоліки адаптивного керування	12
1.3. Застосування адаптивного керування в робототехніці.....	15
1.4. Маніпулятори.....	17
1.5. Адаптивне керування у маніпуляторах.....	21
1.6. Види реалізації адаптивного керування у пневматиці.....	21
1.7. Адаптивність через програмне забезпечення.....	22
Мета та задачі роботи.....	26
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПНЕВМАТИЧНОГО ПРИВОДУ.....	28
2.1. Принципова схема електропневмоприводу.....	28
2.2. Розробка моделі системи «подача-дросель-циліндр».....	29
2.3. Впровадження маси та сил тертя.....	36
2.4. Розробка фінальної моделі пневматичного приводу.....	40
2.5. Тестування розробленої математичної моделі.....	43
Висновки до розділу 2.....	47
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМАТИЧНОГО ПРИВОДУ.....	49
3.1. Тестове дослідження впливу маси на прискорення.....	49
3.2. Дослідження впливу маси на прискорення при змінній площі перерізу дроселя.....	52
3.3. Аналіз пневматичної системи вакуумного захоплювача.....	57
Висновки до розділу 3.....	65
РОЗДІЛ 4. АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ АДАПТИВНИМ ПРИВОДОМ...	67
4.1. Розрахунок маси через значення вимірюваного тиску.....	67

					<i>МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Мазєв Г.С.</i>			<i>Адаптивний електропневмопривід маніпулятора</i>		
<i>Перевірив</i>		<i>Узунів О.В.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
						7	113
					<i>НТУУ</i>		

4.2. Апроксимація проміжних значень прискорення.....	68
4.3. Алгоритм роботи системи.....	70
Висновки до розділу 4.....	72
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНОГО ПРИВОДУ МАНІПУЛЯТОРА.....	74
5.1. Підбір обладнання приводу системи руху маніпулятора.....	75
5.2. Підбір обладнання системи вакуумного утримання вантажу.....	78
5.3. Компонування.....	80
Висновки до розділу 5.....	81
РОЗДІЛ 6. СТАРТАП ПРОЕКТ АВТОМАТИЗОВАНОГО МАНІПУЛЯТОРУ.....	82
6.1.Опис ідеї проекту.....	82
6.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	83
6.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	84
6.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	92
6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	95
Висновки до розділу 6.....	99
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	101
7.1. Аналіз небезпечних факторів.....	101
7.2. Електробезпека.....	102
7.3. Пожежна безпека.....	103
7.4. Мікроклімат.....	104
7.5. Освітлення.....	105
7.6. Шум.....	107
Висновки до розділу 7.....	108
ВИСНОВКИ.....	109
ЛІТЕРАТУРА.....	111

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				8
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

1.1. Термінологія та історія

Для початку аналізу потрібно розібратися з термінами та розумінням самого процесу адаптації.

Адаптацією називається процес зміни параметрів і структури системи на основі поточної інформації з метою досягнення певного, зазвичай оптимального, її стану за початкової невизначеності та змінних умов роботи.

Адаптація може бути одноразовою (відповідно до першого випадку невизначеності) і багаторазовою (відповідно до другого варіанта).

Адаптивне керування — це тип управління, при якому параметри чи структура системи управління автоматично змінюються відповідно до змін у характеристиках об'єкта управління або умов його функціонування, з метою підтримки оптимальних показників роботи системи [23]. Подібні системи керування називаються адаптивними. Адаптивне керування широко використовується в теорії керування.

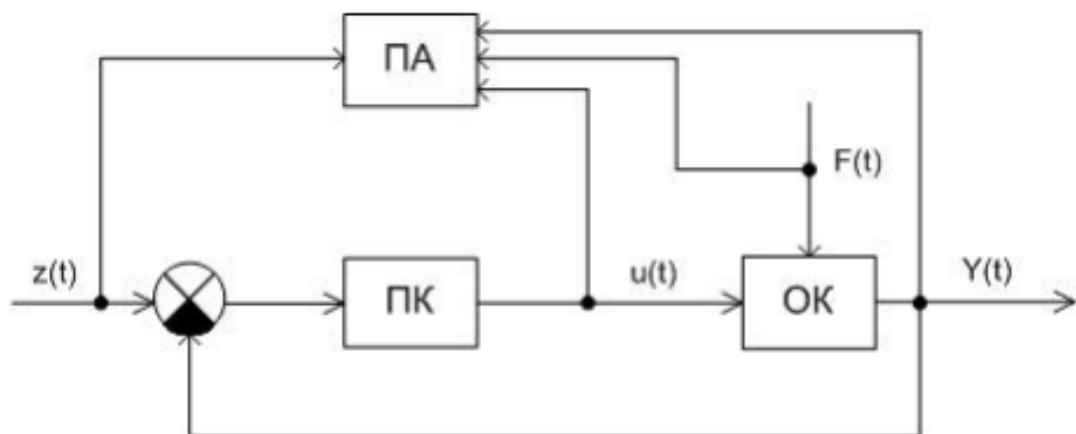


Рисунок 1.1. Узагальнена схема адаптивної системи

Узагальнену схему адаптивної СК зображено на рис.1. Як бачимо, така система має дворівневу структуру: основний контур керування зі зворотним зв'язком і пристрій адаптації (ПА) для цілеспрямованої зміни властивостей П.

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				9
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Типи адаптивного керування:

1) Пряме адаптивне керування: Цей тип адаптивного керування використовує зворотний зв'язок для прямого регулювання параметрів керування.

2) Непряме адаптивне керування: Цей тип адаптивного керування використовує зворотний зв'язок для оцінки параметрів системи, а потім використовує ці оцінки для регулювання параметрів керування.

Перші дослідження в галузі адаптивного керування приводами почалися в 1950-х роках.

1950-ті:

1) Розвиток теорії оптимального керування.

2) Перші практичні застосування адаптивного керування в системах автоматичного регулювання.

Теорія оптимального керування (ТОК) зародилася в 17 столітті з робіт П'єра Ферма, який досліджував задачі оптимального керування в механіці. Проте, значний розвиток ТОК отримала лише в 20 столітті. Теорія оптимального керування є потужним інструментом, який використовується для розв'язання задач з різних галузей.

1960-ті:

1) Розвиток теорії стійкості адаптивних систем.

2) Застосування адаптивного керування в робототехніці.

1970-ті:

1) Розвиток алгоритмів адаптивного керування з використанням мікропроцесорів.

2) Застосування адаптивного керування в електроприводах.

1980-ті:

1) Розвиток теорії адаптивного керування нелінійними системами.

2) Застосування адаптивного керування в системах з невизначеними параметрами.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				10
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

1990-ті:

- 1) Розвиток нейро-адаптивного керування.
- 2) Застосування адаптивного керування в мехатронних системах.

2000-ті:

- 1) Розвиток адаптивного керування з використанням штучного інтелекту.
- 2) Застосування адаптивного керування в складних системах.

Хотілося б додати інформації про використання мікропроцесора у адаптивному керуванні, бо це є невідокремлюваною частиною.

Мікропроцесор – інтегральна схема, яка виконує функції центрального процесора (ЦП) або спеціалізованого процесора [15]. Тобто, це така собі маленька платівка, що містить в собі мільйони транзисторів та інших електронних компонентів, завдяки яким він може виконувати арифметичні, логічні операції та керувати іншими пристроями комп'ютера.

Наведу приклад структурної схеми мікропроцесорної системи керування:

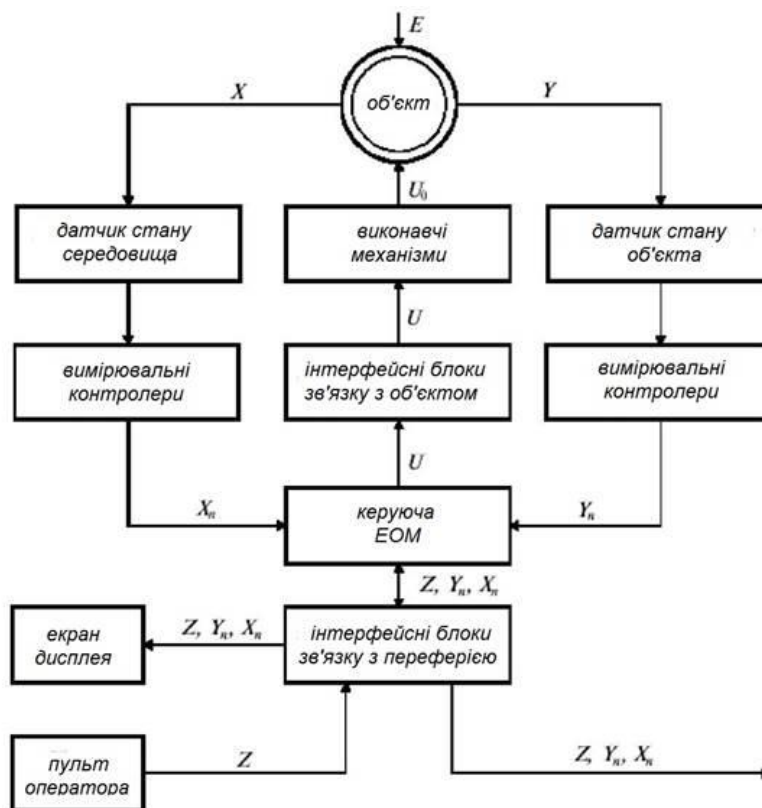


Рисунок 1.2. Структурна схема мікропроцесорної системи керування[13]

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				11
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

На рис.1.2. X – вхід об'єкта; Y – стан об'єкта; E – множина збурень; U_0 – керований вхід; X_n – множина вхідних значень; Y_n – множина вихідних параметрів, стан об'єкта; U – інформація про керуючий вплив; Z – мета керування.

Використання мікропроцесорів надало поштовх до реалізації розвитку нейро-адаптивного керування, яке і сьогодні має широкий спектр застосування у промисловості.

Нейро-адаптивне керування – це система керування, яка використовує штучні нейронні мережі (ШНМ) для адаптації до мінливих умов роботи та покращення характеристик керування.

ШНМ – це тип машинного навчання, який імітує роботу людського мозку. ШНМ складаються з нейронів, які з'єднані між собою і можуть навчатися на основі даних.

1.2. Переваги та недоліки адаптивного керування

Переваги адаптивного керування:

1) Підвищення продуктивності. Адаптивне керування може покращити точність, швидкість та стійкість роботи в мінливих умовах. Це може призвести до збільшення продуктивності та ефективності роботи. Наприклад, адаптивне керування може допомогти роботу-маніпулятору швидше і точніше виконувати завдання, а також економити енергію.

2) Зниження енергоспоживання. Адаптивне керування може допомогти роботу економити енергію, регулюючи параметри керування відповідно до потреб. Це може призвести до збільшення тривалості роботи робота без підзарядки. Це особливо важливо для роботів, які використовуються в польових умовах, де доступ до джерел живлення може бути обмежений.

3) Підвищення безпеки. Адаптивне керування може допомогти зробити роботу безпечнішим, роблячи його більш стійким до непередбачених подій.

		Мазарев Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				12
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Це може знизити ризик травм людей або пошкодження майна. Наприклад, адаптивне керування може допомогти роботу-самоходу безпечно пересуватися в людних місцях, уникаючи перешкод і людей.

4) Зниження потреби в обслуговуванні. Адаптивне керування може допомогти знизити потребу в обслуговуванні робота, автоматично регулюючи параметри керування для компенсації зносу. Це може знизити експлуатаційні витрати та збільшити доступність робота. Наприклад, адаптивне керування може допомогти роботу-маніпулятору автоматично регулювати силу затиску, щоб запобігти пошкодженню деталей.

5) Гнучкість та адаптивність. Адаптивне керування робить робота більш гнучким і адаптивним до різних завдань і умов. Це може розширити можливості робота та зробити його більш універсальним. Наприклад, адаптивне керування може допомогти роботу-маніпулятору виконувати різні завдання, такі як збирання, сортування та транспортування.

6) Здатність до самонавчання. Деякі адаптивні алгоритми керування мають здатність до самонавчання. Це дозволяє їм покращувати свою продуктивність з часом без втручання людини. Наприклад, адаптивний алгоритм керування може навчитися оптимальній траєкторії для пересування робота в динамічному середовищі.



		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				13
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Рисунок 1.3. Самонавчання робота за допомогою штучного інтелекту[18]

На рисунку ми бачимо, як роботи «Еве» під керування штучного інтелекту «OpenAI» самостійно вивчають світ.

7) Підвищення конкурентоспроможності. Використання адаптивного керування може підвищити конкурентоспроможність робототехнічної продукції. Це може допомогти виробникам роботів запропонувати більш досконалі та ефективні продукти своїм клієнтам.

Отже, адаптивне керування має багато переваг, які роблять його цінним інструментом для розробників роботів.

Важливо зазначити, що дослідження в галузі адаптивного керування роботами постійно розвиваються. Розробляються нові методи, які покликані подолати деякі з наступних недоліків.

1) Складність. Адаптивні алгоритми керування можуть бути складними для розробки та реалізації.

2) Вимоги до обчислень. Адаптивні алгоритми керування можуть потребувати значних обчислювальних ресурсів, що може бути проблемою для роботів з обмеженими можливостями.

3) Чутливість до шуму. Адаптивні алгоритми керування можуть бути чутливими до шуму в даних датчиків, що може призвести до нестабільної роботи.

4) Складність налагодження. Адаптивні алгоритми керування можуть бути складними для налагодження, що може ускладнити їх практичне використання.

5) Вартість. Розробка та реалізація адаптивного керування може бути дорогою, що є дуже важливим недоліком у наш час, коли виробництво намагаються якомога більше зробити менш затратним .

Адаптивне керування може не завжди бути кращим вибором, ніж традиційні методи керування. Також рішення про те, чи використовувати адаптивне керування, залежить від конкретного завдання та характеристик

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				14
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

робота, бо важливо ретельно вивчити та протестувати адаптивні алгоритми керування перед їх використанням у реальних роботах.

Приклади проблем, які можуть виникнути при використанні адаптивного керування:

1) Нестабільність. Адаптивний алгоритм керування може призвести до нестабільної роботи робота, якщо він не правильно налаштований.

2) Повільна адаптація. Адаптивному алгоритму керування може знадобитися час для адаптації до нових умов, що може призвести до зниження продуктивності.

3) Перенавчання. Адаптивний алгоритм керування може перенавчатися на даних тренування, що може призвести до поганої роботи в реальних умовах.

1.3. Застосування адаптивного керування в робототехніці

Адаптивне управління дозволяє автоматичним системам пристосовуватись до змінних умов роботи об'єкта, що стало важливою складовою сучасної робототехніки, спрямованої на виконання завдань у нестабільному середовищі [8]. Сьогодні, під час стрімкого розвитку штучного інтелекту та впровадження роботів, як побутових (роботів-пилососів, автоматичні касові апарати, роботи-іграшки), так і промислових, або задач, яких пов'язані з виробництвом, стало необхідним застосування адаптивного керування. Наприклад:

1) Маніпулятори. Адаптивне керування може використовуватися для покращення точності та стійкості маніпуляторів, а також для зниження їх енергоспоживання.

2) Ходячі роботи. Адаптивне керування може використовуватися для покращення стійкості та ходьби ходячих роботів по нерівній місцевості.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				15
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		



Рисунок 1.4 Ходячий робот від «Boston Dynamics» [4]

На рис.1.6. зображений ходячий робот ,який автоматично адаптується до свого положення у просторі, навіть якщо його навмисно штовхати та намагатися вибити зі стану рівноваги. Більш того робот автоматично аналізує перешкоди та може самостійно перетинати, перестрибувати їх без падінь та втрати рівноваги, положення.

3) Літаючі роботи. Адаптивне керування може використовуватися для покращення маневреності та стійкості літаючих роботів.



Рисунок 1.5. Дрон з адаптивним керуванням [25]

На рис.1.7 можна побачити дрон, який використовується для запису відео або фотографування місцевості. Швидкість дрона адаптується до положення.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				16
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Також він має автоматичну підтримку положення по горизонталі, яка реалізована за допомогою фото-датчиків.

Тепер класифікуємо застосування адаптивного керування за функцією дослідного робота:

1) Керування рухом роботів. Адаптивне керування може допомогти роботам адаптуватися до змін у середовищі, таким як нерівний ґрунт, перешкоди або зміна терену. Це дозволяє роботам ефективно рухатися без необхідності постійного втручання оператора.

2) Керування силами і моментами. У деяких роботах, наприклад, в промислових роботах або роботах для медичних застосувань, важливо контролювати сили і моменти, щоб уникнути пошкоджень об'єктів або навколишнього середовища. Адаптивне керування дозволяє роботам реагувати на зміни у внутрішніх і зовнішніх умовах для підтримки безпечної роботи.

3) Керування сенсорами. У робототехніці використовуються різноманітні сенсори для сприйняття навколишнього середовища. Адаптивне керування дозволяє оптимізувати використання цих сенсорів в залежності від поточних умов, забезпечуючи ефективне функціонування робота.

4) Керування енергоспоживанням. Адаптивне керування також може бути використане для оптимізації енергоспоживання роботів. Роботи можуть адаптувати свої режими роботи в залежності від внутрішніх параметрів, таких як рівень заряду акумулятора, або зовнішніх умов, таких як температура або доступність джерел енергії.

1.4. Маніпулятори

Так як в магістерській дисертації розглядається пневматичний привід з адаптивним керуванням для переносу вантажу, то доцільно більше звернути увагу саме на маніпулятори, їх будову, схему та, найголовніше, реалізацію адаптивного керування в їх роботі.

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				17
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Маніпулятори — це механічні пристрої з одним або декількома ступенями свободи, призначені для виконання технологічних операцій або переміщення предметів у просторі за заданою програмою [21]. Вони застосовуються в різних галузях, таких як промисловість, логістика, медицина, наука тощо.

Маніпулятори є ключовими компонентами робототехніки, використовуються для виконання різноманітних завдань у різних галузях, включаючи промисловість, медицину, логістику, науку та інші.

Існують різні типи маніпуляторів, включаючи промислові роботи, роботи з вантажем, хірургічні роботи, роботи для взаємодії з небезпечними середовищами тощо. Кожен тип має свої унікальні характеристики і особливості в конструкції та функціонуванні. Маніпулятори можуть мати різні механізми руху, такі як серійні, паралельні, гібридні тощо. Кінематична структура визначає можливості руху та простір робочої області маніпулятора.

Маніпулятори керуються за допомогою програмного забезпечення, яке включає в себе алгоритми керування та програми для виконання конкретних завдань. Програмування може бути проведене вручну за допомогою спеціалізованих мов програмування або автоматизовано за допомогою системи навчання з підкріпленням. Багато маніпуляторів обладнані різними типами сенсорів для сприйняття навколишнього середовища, такими як камери, силові датчики, датчики відстані, тощо. Ці сенсори дозволяють маніпуляторам взаємодіяти з об'єктами та середовищем навколо них.

У багатьох випадках важливо контролювати сили, з якими маніпулятори взаємодіють з оточуючими об'єктами. Деякі маніпулятори обладнані системами безпеки, які реагують на непередбачені ситуації або перешкоди, щоб уникнути пошкоджень.

Маніпулятори часто використовуються як частина більшої системи автоматизації або робочого процесу. Їх можна інтегрувати для оптимізації робочих процесів з іншими робототехнічними системами, конвеєрами, комп'ютерами, тощо.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				18
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Усі ці аспекти враховуються при проектуванні та використанні маніпуляторів у різних галузях, щоб забезпечити їх ефективність, безпеку та надійність у реальних умовах експлуатації.

У промисловості маніпулятори відіграють ключову роль у виробничих процесах, сприяючи автоматизації, підвищенню продуктивності та зниженню витрат.



Рисунок 1.6. Різні моделі маніпуляторів у промисловості[19]

Ось деякі конкретні аспекти їх застосування в промисловості:

1) Монтаж і збирання. Маніпулятори використовуються для автоматизації процесів монтажу і збирання виробів. Вони можуть брати на себе завдання зі збирання компонентів, складання виробів та встановлення деталей на лініях виробництва.



		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				19
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Рисунок 1.7. Використання маніпулятора на лінії виробництва автомобіля.[2]

2) Обробка матеріалів. Маніпулятори допомагають у роботі з матеріалами, такими як метал, пластик, скло тощо. Вони можуть використовуватися для фрезерування, свердління, шліфування, різання та інших операцій обробки матеріалів.

3) Пакування і палетизація. Маніпулятори використовуються для автоматизації процесів пакування виробів та їх палетизації для подальшого транспортування. Вони можуть складати вироби у коробки, наносити етикетки, укладати їх на палети тощо.

4) Обробка великогабаритних виробів. У важких та великогабаритних виробництвах, таких як автомобільна або аерокосмічна промисловість, маніпулятори використовуються для переміщення великих деталей та збирання складних конструкцій.

5) Якість і контроль. Маніпулятори можуть бути обладнані системами контролю якості, які дозволяють виявляти дефекти або відхилення виробів під час виробництва. Це допомагає запобігти виробничим відходам та забезпечує високу якість продукції.

6) Фармацевтична та харчова промисловість. У цих галузях маніпулятори використовуються для автоматизації процесів фасування, розливу, упаковки та маркування продукції.

Використання маніпуляторів у промисловості дозволяє автоматизувати повторювані технологічні процеси, такі як зварювання, фарбування, складання і транспортування, що значно підвищує ефективність виробництва, зменшує витрати і покращує якість продукції [9].

Отже, коли зрозуміло функції, принцип дії, типи та застосування маніпуляторів, необхідно розібрати реалізацію адаптивного керування у маніпуляторах.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				20
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

1.5. Адаптивне керування у маніпуляторах

Адаптивне керування в робототехніці, зокрема в контексті маніпуляторів, є ключовою технологією, що сприяє оптимізації функціонування роботів у різних умовах. Маніпулятори, які використовуються для збирання, переміщення або обробки об'єктів, повинні адаптуватися до змін у середовищі, взаємодіяти з різноманітними об'єктами та оптимізувати свої функції для досягнення максимальної продуктивності. Адаптивне управління в маніпуляторах дозволяє системам автоматично коригувати траєкторії руху та зусилля в залежності від змінних умов навколишнього середовища або властивостей об'єкта, з яким взаємодіє пристрій [17]. Це забезпечує підтримку точності та ефективності операцій. Крім того, маніпулятори повинні контролювати сили і моменти взаємодії з об'єктами, адаптуючись до їхніх властивостей та забезпечуючи безпечну роботу. Оптимізація швидкості та точності є ще однією важливою задачею, що розв'язується за допомогою адаптивного керування. В залежності від конкретних умов взаємодії з об'єктами, маніпулятори можуть регулювати свої параметри руху для досягнення оптимальних результатів. Енергоефективність також має велике значення для маніпуляторів, особливо в мобільних або батарейних системах. Адаптивне керування дозволяє оптимізувати споживання енергії, наприклад, за допомогою регулювання потужності рухів або використання енергоефективних методів керування.

В цілому, адаптивне керування в маніпуляторах робить їх більш гнучкими, продуктивними та безпечними у різних умовах роботи. Ця технологія сприяє покращенню рівня автоматизації та ефективності в різних галузях, де використовуються маніпулятори.

1.6. Види реалізації адаптивного керування у пневматиці

Через те, що у розрахунковій автоматизованій системі виконавчий пристрій рухає вантаж за допомогою вакуумного всмоктуючого елемента, а вантаж

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				21
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

може бути надважким, що може спричинити відрив вантажу , необхідно розглянути саме пневматичні реалізації автоматизованого керування.

Взагалі, якщо говорити про узагальнену пневматичну принципову схему робота-маніпулятора, то ми маємо наступне:

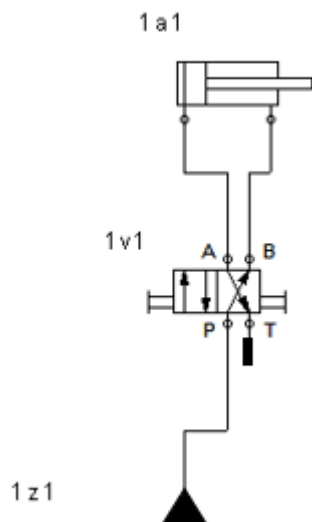


Рисунок 1.8. Узагальнена принципова схема пневматичного маніпулятора

На рис 11. Зображено компресор – 1z1; 4/2 бістабільний розподільник з кнопочним керуванням – 1v1 та виконавчий елемент – пневмоциліндр двосторонньої дії – 1a1.

Тобто, загально маніпулятор складається з блоку живлення, блоку керування та споживача – виконавчий блок.

Адаптивний контроль у пневматиці може бути реалізований за допомогою різноманітних методів та технологій. Ось декілька способів, які використовуються для реалізації адаптивного контролю в пневматиці:

1) Адаптивні клапани та регулятори. Використання адаптивних клапанів та регуляторів дозволяє автоматично регулювати рівень тиску, потоку або напрямку руху робочого газу в залежності від змін у внутрішніх або зовнішніх умовах. Наприклад, адаптивні пропорційні клапани можуть автоматично коригувати свої характеристики для компенсації зносу або змін у властивостях пневматичної системи з часом.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				22
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		



Рисунок 1.9. Адаптивний клапан фірми «Wabco»[1]

2) Системи контролю зворотного зв'язку. Використання систем зворотного зв'язку дозволяє пневматичним системам реагувати на зміни в навантаженні або потребі в руху. Наприклад, датчики тиску, потоку або положення можуть передавати інформацію про поточні умови системи контролю, щоб автоматично коригувати параметри роботи пневматичного обладнання.

3) Адаптивні контролери та алгоритми. Використання адаптивних контролерів та алгоритмів дозволяє пневматичним системам автоматично адаптуватися до змін у внутрішніх або зовнішніх умовах. Ці контролери можуть використовувати різні методи, такі як методи штучного інтелекту або навчання з підкріпленням, для визначення оптимальних параметрів керування.

4) Модульні та розширювані системи. Використання модульних та розширюваних систем дозволяє гнучко налаштовувати пневматичні системи відповідно до конкретних потреб або змінних умов роботи. Наприклад, системи зі змінними компонентами можуть дозволяти швидко змінювати конфігурацію системи для оптимізації її роботи в різних умовах.

Загалом, реалізація адаптивного контролю в пневматиці сприяє покращенню ефективності, надійності та безпеки пневматичних систем у

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				23
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

різних умовах експлуатації. Це дозволяє забезпечити стабільність і точність роботи навіть в умовах змінного навантаження або зовнішніх впливів [12].

1.7. Адаптивність через програмне забезпечення

Також, адаптивності можна досягти за допомогою програм. Пов'язати програму з пневматичною системою можна за рахунок плат з програмним забезпеченням. За їх допомогою можна контролювати певними функціями, діями, станом системи.

Наприклад, однією з таких програмних плат є Arduino.

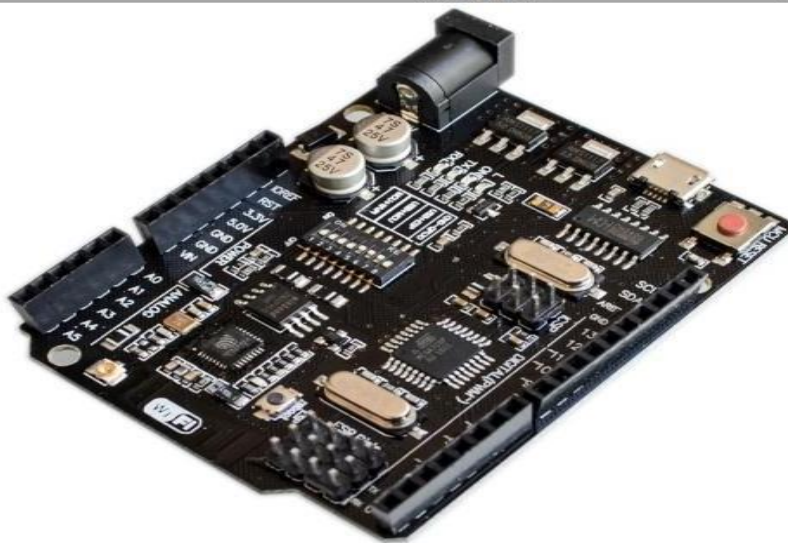


Рисунок 1.10. Плата «Arduino Uno Wi-Fi R3»[16]

Плата «Arduino» є потужним інструментом для реалізації адаптивного контролю у пневматиці шляхом програмного забезпечення. Вона дозволяє розробникам створювати гнучкі системи керування, які можуть автоматично реагувати на зміни у внутрішніх або зовнішніх умовах. За допомогою «Arduino» можна створювати системи контролю зворотного зв'язку, які автоматично реагують на зміни вимірюваних параметрів, таких як температура, вологість або тиск. Наприклад, датчик тиску може передавати дані до «Arduino», яка в свою чергу може автоматично регулювати робочий тиск системи пневматики відповідно до змін в обсязі робіт або потребах процесу. «Arduino» також дозволяє реалізувати адаптивне керування

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				24
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

параметрами, такими як швидкість обертання сервомотора або величина подачі повітря. Це дозволяє оптимізувати роботу пневматичної системи в реальному часі відповідно до змінних умов роботи. Крім того, за допомогою «Arduino» можна використовувати алгоритми навчання з підкріпленням для автоматичного навчання системи та її адаптації до нових умов роботи. Це може включати оптимізацію параметрів керування для максимізації продуктивності або енергоефективності. У підсумку, «Arduino» відкриває широкі можливості для створення адаптивних систем керування в пневматиці, допомагаючи підвищити ефективність, надійність і гнучкість пневматичних систем у різних умовах роботи.

За результатами здійсненого інформаційного пошуку, стало зрозуміло, що автоматизоване керування є галуззю теорії та практики керування, що динамічно розвивається. Воно використовується для покращення характеристик систем в умовах невизначеності та змінних умов роботи. Також відмічені переваги використання адаптивного керування: підвищення продуктивності, зниження енергоспоживання, підвищення безпеки, зниження потреби в обслуговуванні та інше.

Аналогічно до переваг, було визначено й недоліки використання цього керування: складність розробки, вимоги до обчислень, чутливість до “шуму”, складність налагодження, вартість та інше.

Проаналізовано використання адаптивного керування у різних галузях промисловості та повсякдення, а саме маніпулятори, ходячі роботи, літаючі роботи, керування рухом роботів, керування силами і моментами, керування сенсорами, керування енергоспоживанням.

В магістерській дисертації надважливо було проаналізувати використання адаптивного керування саме в маніпуляторах. Після аналізу я прийшов до такого висновку: адаптивне керування використовується для покращення точності, стійкості, енергоефективності та безпеки маніпуляторів.

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				25
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Також, важливо зазначити, що різні алгоритми адаптивного керування використовуються для вирішення різних задач та їх вибір залежить від специфіки задачі. Важливо ретельно вивчити та протестувати адаптивні алгоритми керування перед їх використанням у реальних роботах. Важливо зазначити, що адаптивне керування - це складна галузь, яке потребує подальших досліджень і розробок.

Також проаналізовано варіанти та різні технології адаптивного керування у пневматиці. В магістерській дисертації буде розглянуто привід з адаптивним керуванням для переносу вантажу.

Розглянемо ситуацію, де на виробництві або у складському приміщенні використовується маніпулятор для переносу вантажу з однієї позиції на іншу. Автоматизована система маніпулятора не знає ані маси вантажу, ані габаритів, а на виробництві вантаж може бути як негабаритним і важким, так і навпаки. Тобто при підйомі цього вантажу вверх за допомогою вакуумного заповнювального пристрою маніпулятор буде розвивати однакове прискорення підйому ланки незалежно від маси вантажу. Цей процес неконтрольованої швидкості руху ланки маніпулятора може призвести до відриву вантажу. Відрив вантажу в свою чергу спричиняє пошкодження вантажу, яке може бути вартісним і, більше того, відірваний на великій швидкості вантаж може спричинити серйозні травми для людей які знаходяться поруч, або навіть вбити. Вирішення цієї проблеми не тільки зробить маніпулятор більш універсальним на виробництві, а й зробить його безпечнішим при експлуатації. Саме тому необхідно визначити мету та задачі роботи по вирішенню виявленої проблеми.

Мета та задачі роботи

Мета: Підвищення ефективності приводу маніпулятора шляхом використання адаптивного керування

Задачі:

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				26
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

- 1) Розробка математичної моделі пневматичного приводу маніпулятора
- 2) Проведення дослідження пневматичного приводу маніпулятора для визначення впливу маси на прискорення
- 3) Розробка алгоритму адаптивного керування
- 4) Розрахунок основних параметрів елементів приводу маніпулятора та підбір обладнання

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунув О.В.				27
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 . РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПНЕВМАТИЧНОГО ПРИВОДУ

Математична модель пневмопривода є системою диференціальних рівнянь, що описують рух виконаного органу і зміна тисків в порожнинах виконавчого механізму [11].

2.1 Принципова схема електропневмоприводу

У якості базової схеми було вибрано наступну принципову схему пневмоприводу, яка складається з компресора, розподільника та пневматичного циліндру.

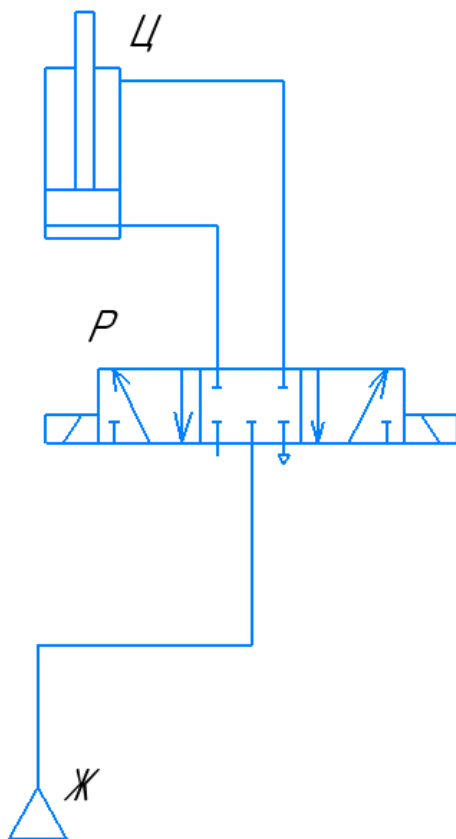


Рисунок 2.1. Базова принципова схема приводу

Для правильного розрахунку залежності прискорення від маси вантажу , було проаналізовано процеси які виникають в системі. Після чого я прийшов до висновку, що найраціональніше використовувати циклічно-модульний підхід для вирішення цієї задачі. Цей метод дозволяє розбити

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				28
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

систему на елементи, які реалізують виконання елементарних процесів. Спроектуємо математичну модель цієї системи шляхом покрокового аналізу кожного з елементів, як окремо, так і у взаємодії один з одним.

2.2. Розробка моделі для системи «подача-дросель-циліндр»

Процедура моделювання включає дослідження об'єкта шляхом створення його моделі, визначення закономірностей її роботи та перенос отриманих результатів на об'єкт [22].

Таким чином, якщо розбити пневмопривод на частини, то в першій частині залишаються такі елементи, як компресор, камера розподільника та пневматичний циліндр. Якщо з математичною моделлю пневматичного циліндра не виникає питань, то математичну модель розподільника пропонуємо розглядати як математичну модель регульованого дроселя, тому і математичні формули процесів регульованого дроселя і будемо використовувати в математичній моделі системи.

Отже, розглянемо систему: «подача-дросель-циліндр».

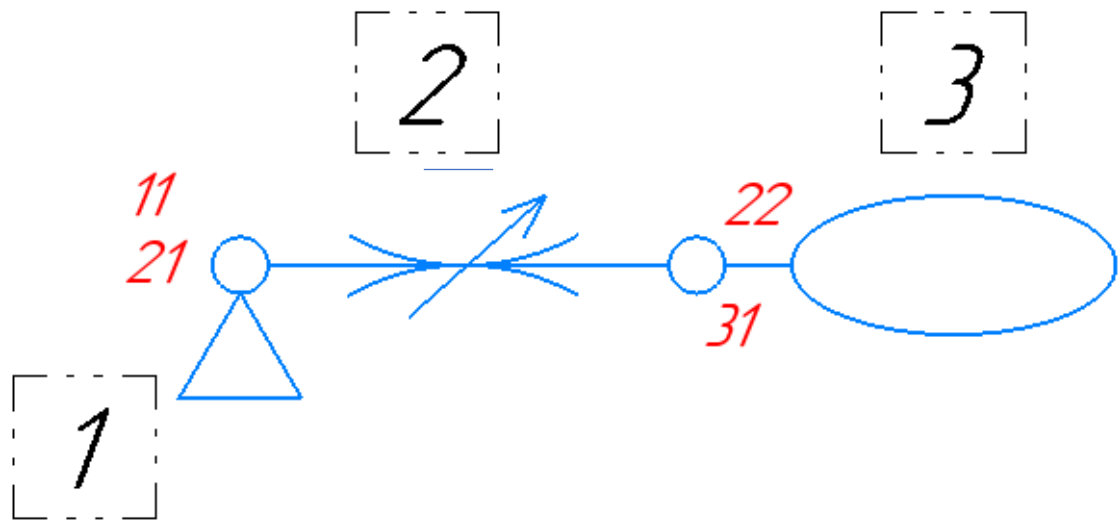


Рисунок 2.2. Схема «подача-дросель-циліндр»

На схемі можна побачити 3 елементи та точки з'єднання, що є зображенням взаємодії цих елементів між собою. Важливо зауважити, що для простоти розробки цієї математичної моделі та розрахунків, із пневматичного

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				29
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

циліндра, як елемента, враховано тільки його порожнина – рух поршня та сили тертя на цьому етапі не беремо до уваги.

Тоді, на виході цієї моделі цікавить витрата та залежність тиску від часу точки 2-2. Для розрахунку цих параметрів знайдемо витрату та тиск у першій точці з'єднання.

Для елемента 1:

$$G_{11} = G; p_{11} = p \quad (2.1)$$

Тому для дроселя(елемент 2) на вході у точці 21:

$$G_{21} = G_{11}; p_{21} = p_{11} \quad (2.2)$$

Існують 4 основні термодинамічний процеси: ізобарний ($p = \text{const}$), ізохорний ($V = \text{const}$), ізотермічний ($T = \text{const}$) та адіабатний ($dq = \text{const}$). В середині пневматичного регульованого дроселя процес є адіабатним, тому що відсутній теплообмін з навколишнім середовищем. В такому випадку теплота $q = 0$, а змінний показник політропи n замінюють на постійний показник адіабати k , а похибку компенсують введенням коефіцієнта витрати μ . Також при термодинамічних розрахунках для стиснутого повітря скористаюся рівнянням стану ідеального газу, де:

$$pV = RT \quad (2.3)$$

Для обчислення масової витрати повітря скористаюся рівнянням Сен-Венана і Ванцеля, яке має такий кінцевий вигляд [24]:

$$G = \mu * A * p * \sqrt{\frac{2k}{k-1} * \frac{1}{RT} \left((\sigma)^{\frac{2}{k}} - (\sigma)^{\frac{k+1}{k}} \right)}, \quad (2.4)$$

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				30
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

де A – площа перерізу, p – тиск на вході, R – газова стала, T – температура газу, σ – відношення тисків.

Якщо проаналізувати рівняння, то масова витрата є функцією відношення тисків на виході і вході. Графік функції $G=f(\sigma)$ має вигляд параболи, з екстремальною точкою, яка є критичною масовою витратою, а саме [24]:

$$\sigma^* = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/k-1} = 0,5282,$$

де $k = 1.4$ (коефіцієнт адіабати для повітря)

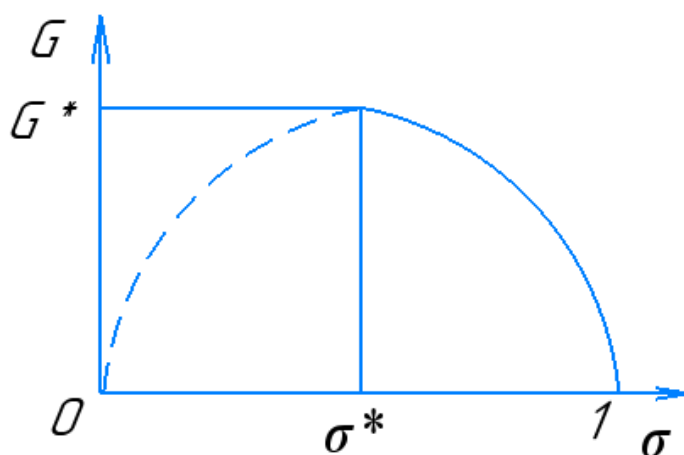


Рисунок 2.3. Графік залежності функції витрати від перепаду тисків

Пунктирна гілка параболи суперечить фізичному змісту явища, тому в реальності σ на цій ділянці не змінна і дорівнює σ^* . Такий режим течії, де протікання повітря не залежить від зміни тиску і наявна постійна масова витрата є надкритичним.

Після досягнення критичної точки, перепад тисків і витрата починає зменшуватись до 0, на цій ділянці режим течії називають підкритичним. Для більшої зручності зазвичай вводять поняття функції витрати $\phi(\sigma)$ [24]:

$$\sqrt{(\sigma)^{\frac{2}{k}} - (\sigma)^{\frac{k+1}{k}}} = \phi(\sigma) \quad (2.5)$$

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				31
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Якщо підставити значення для повітря $k = 1,4$; $R = 287$ Дж / (кг*рад) , то отримаємо рівняння витрати для підкритичного режиму [24]:

$$G = 0,156 * \mu * A * (p/\sqrt{T}) * \varphi(\sigma) \quad (2.6)$$

Для надкритичного режиму, де $\varphi(\sigma) = const$, формула виглядатиме так [24]:

$$G^* = 0,0404 * \mu * A * (p/\sqrt{T}) \quad (2.7)$$

Повертаючись до математичної моделі системи «подача-дросель-циліндр», щоб знайти витрату дроселя у точці 2-2 , скористаюсь формулою 2.6 , тоді :

$$G_{22} = 0,156 * \mu * A * (p_{21}/\sqrt{T}) * \sqrt{\left(\frac{p_{22}}{p_{21}}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{22}}{p_{21}}\right)^{\frac{k+1}{k}}}$$

Якщо проаналізувати це рівняння, можна зрозуміти, що тиск p_{22} — нам невідомий. Так як у цій точці вихід дроселя з'єднаний з камерою дроселя, то тиск можна знайти , якщо проінтегрувати функцію dp/dt .

Одна з основних причин розробки математичної моделі є симуляція руху поршня для подальшого аналізу. Моделювання руху є складним як за характером фізичних процесів так і за розрахунками.

Спочатку необхідно розробити розрахункову схему приводу.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				32
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

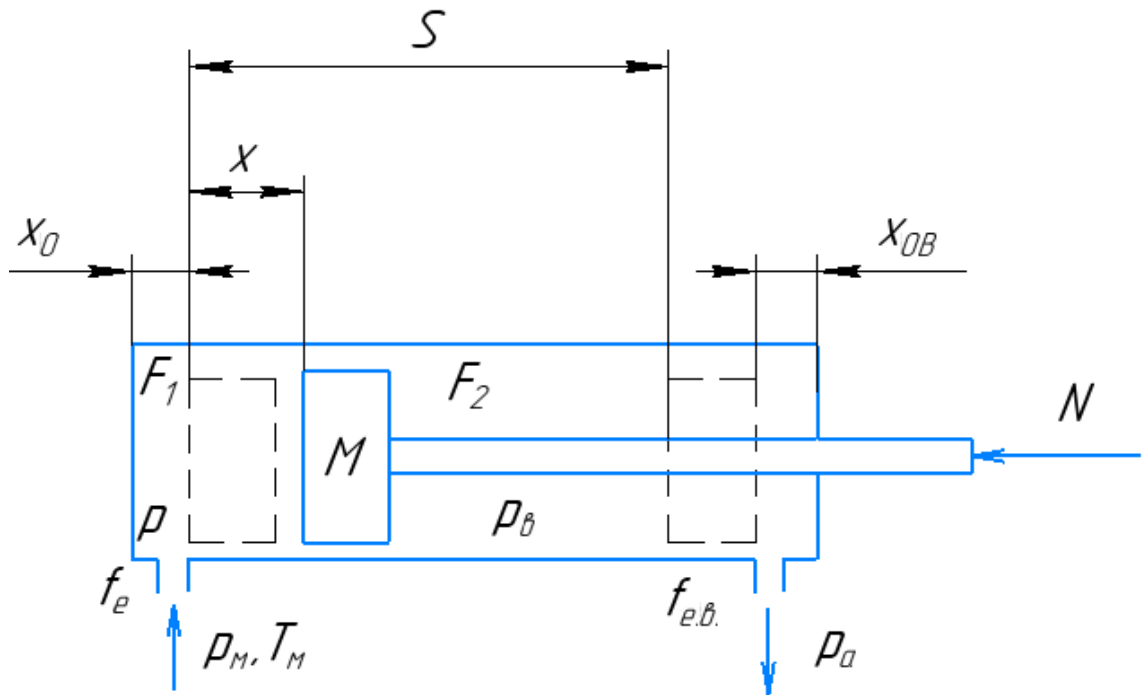


Рисунок 2.4. Розрахункова схема приводу

На схемі можна побачити пневматичний циліндр у розрізі, де присутні всі параметри для розрахунку та наступного моделювання. Зі схеми 2.4 рух поршня можна описати наступною системою рівнянь, підставляючи формулу витрату у систему [11]:

$$\begin{cases} \frac{m}{dt^2} \frac{d^2 x}{dt^2} = pF - p_B F_B - \mathbb{P} \\ kRT_M dm_M = kp dV + Vdp \\ -kRT_B m_B = kp_B dV_B dp_B \end{cases} \quad (2.8)$$

Ця система складається з рівняння руху та двох рівнянь енергетичного балансу. Шляхом перетворень система набуває вигляду [11]:

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{m} (pF - p_B F_B - \mathbb{P}) \\ \frac{dp}{dt} = \frac{k}{x+x_0} \left(\frac{f_e \mu p_M \sqrt{RT_M} \varphi(\sigma)}{F} - p \frac{dx}{dt} \right) \\ \frac{dp_B}{dt} = \frac{k}{s+x_{OB}-x} \left(p_B \frac{dx}{dt} - \frac{f_{e.B.} \mu p_B^{(3k-1)/k} \sqrt{RT_M} \varphi(\sigma)}{F p_M^{(k-1)/2k}} \right) \end{cases} \quad (2.9)$$

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				33
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

де $\frac{dp}{dt}$ – рівняння тиску у поршневій порожнині пневматичного циліндру, а $\frac{dp_B}{dt}$ – рівняння тиску для штокової (вихлопної) порожнини пневматичного циліндру.

При аналізі першого рівняння системи доданок $\mathbb{P}$ є результуючою всіх сил які діють на поршень, окрім сил тисків в камерах. У загальному випадку рівняння для $\mathbb{P}$ виглядає так [11]:

$$\mathbb{P} = P_1 \mp P_2 \mp P_3 \mp p_a F_{\text{ш}} \quad (2.10)$$

де P_1 – сила тертя, P_2 – сила корисного опору, P_3 – вага поршня і приводу, $p_a F_{\text{ш}}$ – атмосферний тиск який діє на шток пневматичного циліндру.

Знаки доданків можуть бути як плюс, так і мінус залежно від системи, але сила тертя завжди направлена в протилежний бік від руху поршня, тому завжди має значення зі знаком плюс. Конкретно для розрахункової системи рівняння для $\mathbb{P}$ виглядатиме так [11]:

$$\mathbb{P} = P_1 + P_2 + P_3 + p_a F_{\text{ш}} + mg \quad (2.11)$$

Так як привід знаходиться у вертикальному положенні та має підіймати вантаж, то необхідно врахувати ще й силу тяжіння mg .

Повертаючись до першої частини розрахункової системи, залежність тиску від часу для пневматичної камери приймає наступний вигляд:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{k}{x+x_0} \left(\frac{f_e K p_M \sqrt{RT_M} \varphi(\sigma)}{F} - p_{\text{п}} \frac{dx}{dt} \right) \quad (2.12)$$

де k - коефіцієнт адіабати, x – поточне положення штоку циліндру, f_e – площа перерізу вхідного отвору, p_M – тиск нагнітання, F – площа перерізу

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				34
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

поршневої камери, p – тиск у поршневій камері, dx/dt – швидкість руху поршня, x_0 – є зведеною початковою координатою положення поршня.

Коефіцієнт K у першому рівнянні з системи рівнянь 2.9 розраховується за наступною формулою[11]:

$$K = \left(\frac{2gk}{k-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

Так як на цьому етапі поршня ще «не існує», тому і швидкість його дорівнює нулю, тому $p \frac{dx}{dt} = 0$. Отже варіант формули для цієї частини системи є наступним:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{k}{x+x_0} \left(\frac{f_e K p_M \sqrt{RT_M \varphi(\sigma_1)}}{F} \right) \quad (2.14)$$

Таким чином, визначені всі процеси для елементів математичної моделі та виведені всі математичні формули, що описують ці процеси та зв'язки між ними. За допомогою середовища MATLAB SIMULINK просимулюємо всі процеси елементів системи, використовуючи їх математичні формули, щоб отримати графіки функцій $p(t)$.

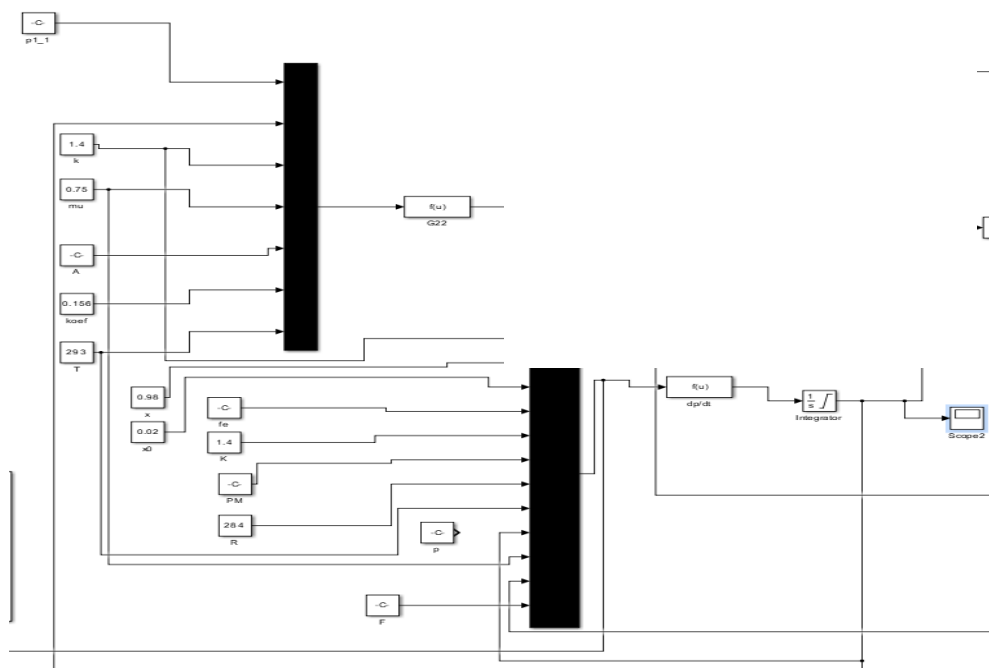


Рисунок 2.5. Схема системи «подача-дросель-циліндр» в SIMULINK

На схемі можна побачити що за допомогою таких модулів як константа, MUX, INTEGRATOR та блоку функцій користувача зроблена симуляція процесу розрахункової системи «подача-дросель-циліндр». Важливо зазначити, що після інтегрування тиск повертається у блок функції dp/dt на кожній ітерації симуляції, що демонструє зв'язок між порожниною пневмоциліндру та виходу дроселя. Час симуляції обрано рівним 5 секундам. Після завершення симуляції отримано наступний графік:

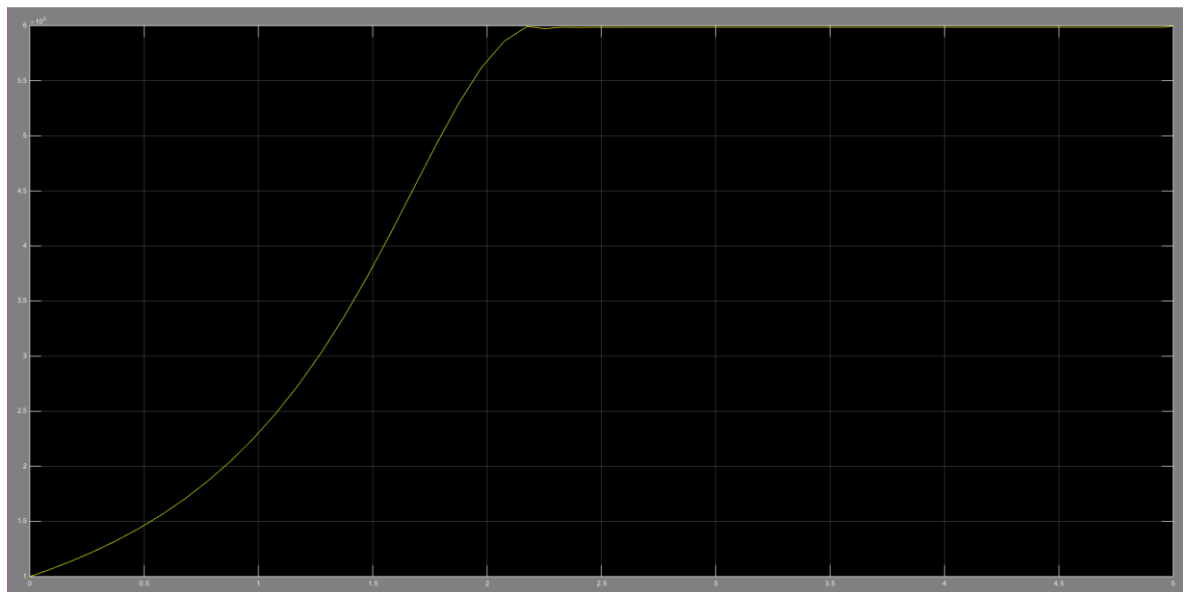


Рисунок 2.6. Графік тиску для системи «подача-дросель-циліндр»

Цей графік відповідає одному з фізичних процесів, які проходять всередині розрахункової системи, а саме, графік тиску у закритій камері, де відбувається поступове збільшення тиску від атмосферного до максимального тиску системи, який нагнітає компресор.

2.3. Впровадження маси та сил тертя

Важливо розуміти, що у розрахунковій системі повітря виконує корисну роботу, а саме рухає поршень пневмоциліндра, тому надважливо враховувати сили тертя та інші сили, які діють на привід. Метою наступного кроку є

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				36
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

введення маси в систему для отримання графіку швидкості $V(t)$. До математичної моделі, додамо наступні базові елементи:

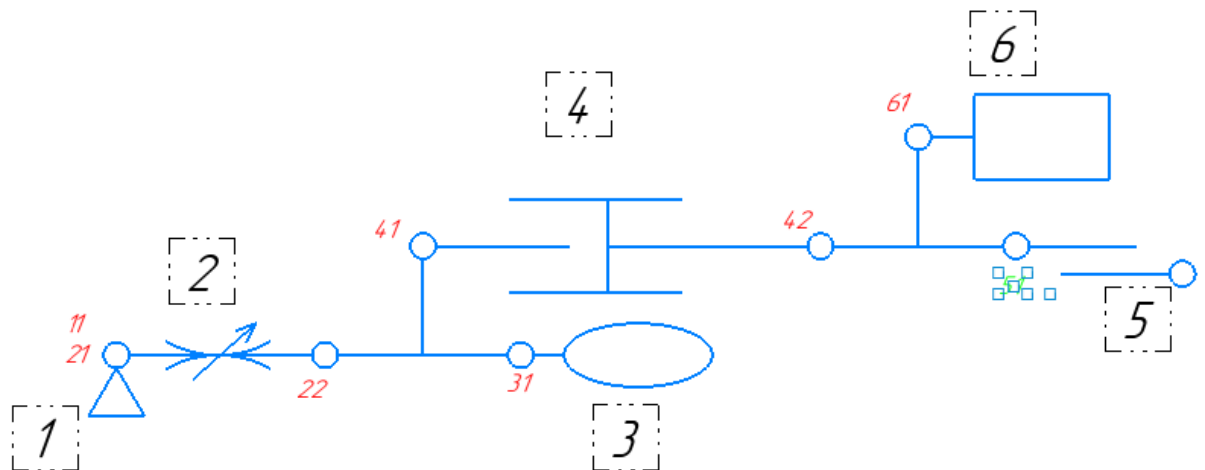


Рисунок 2.7. Система з урахуванням маси та сил тертя

На оновленій схемі можна побачити 2 трійника, циліндр – 4, пара тертя – 5, елемент маси – 6. Для трійників справедливі наступні формули:

$$G = G_1 + G_2 ; p = p_1 = p_2 \quad (2.15)$$

Тобто на виході трійника витрата є сумою двох інших витрат які надходять з інших кінців трійника, в той час як тиск залишається незмінним незалежно від підключення до трійника. Саме тому для трійника який з'єднує камеру пневматичного циліндру, вихід дроселя та елементу перетворення тиску у силу справедливе твердження:

$$p_{31} = p_{41}$$

Якщо розібрати фізичний зміст елемента пневматичний циліндр, то зміст полягає у тому, щоб трансформувати тиск від повітря у силу, яка рухає поршень пневматичного циліндру, а той через шток рухає масу. Сила у поршневі камері пневматичного циліндра – це добуток тиску поршневої камери на площу його дії, тому скористаюсь наступною формулою:

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				37
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

$$F_{42} = p_{41} * A_{\pi} \quad (2.16)$$

де A_{π} – площа перерізу поршневої камери циліндру

На наступному кроці розрахункової системи знаходиться ще один трійник, який з'єднує пару тертя, силу у вихлопній камері та масу. Розглянемо детальніше елемент «маса» – 6. Для правильної симуляції руху маси необхідно врахувати сили тертя які виникають під час руху маси. Для даної системи результуючою всіх сил знехтуємо. У такому випадку для знаходження прискорення dv/dt , що є функцією ділення різниці сил на масу, формула буде мати наступний вигляд:

$$\frac{dv_{61}}{dt} = \frac{F_{42} - F_{51}}{m} \quad (2.17)$$

Щоб розрахувати силу тертя F_{51} необхідно знати швидкість руху. Її можна отримати після інтегрування прискорення $\frac{dv_{61}}{dt}$. У такому випадку формула для знаходження сили тертя скористаюсь наступною формулою:

$$F_{51} = b * \int \frac{dv_{61}}{dt} \quad (2.18)$$

де b – коефіцієнт тертя ($b = 0.6$)

Також важливо згадати, що у попередній системі не враховано вплив швидкості руху поршня на зміну тиску у поршневій камері, тому формула 2.14 більше не підходить для коректної реалізації моделі фізичного процесу. В наступних розрахунках формула для визначення тиску в поршневій камері буде мати вигляд 2.12.

Отже тепер додамо до математичної моделі у SIMULINK наступні елементи:

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				38
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

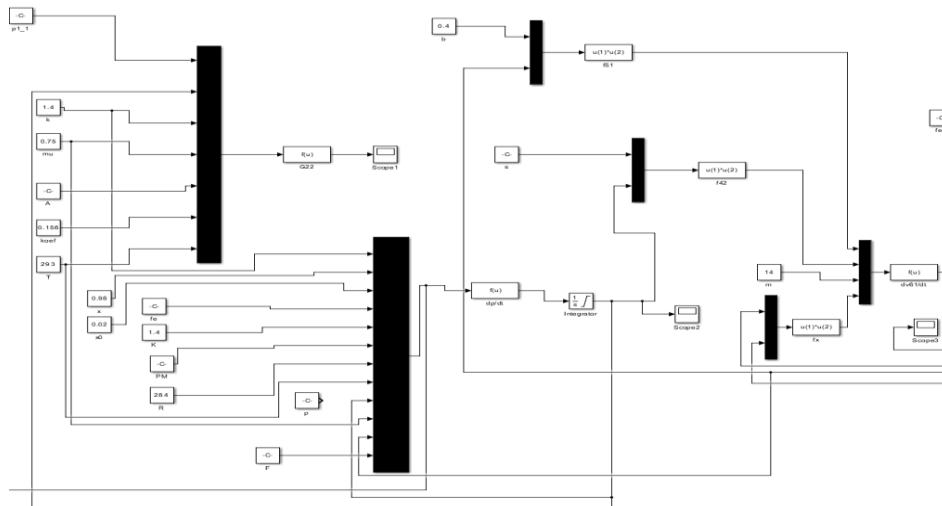


Рисунок 2.8. Схема системи з урахуванням маси у SIMULINK

Проаналізувавши схему, видно, що додалося 3 нових блоки функцій, інтегратор та константи. Аналогічно до попередньої системи, проінтегрована швидкість а саме $V(t)$, знову надходить до блоку функції обрахунку сил тертя на кожній ітерації обчислень, що свідчить про взаємодію елементів між собою у математичній моделі. У результаті отримано наступний графік швидкості:

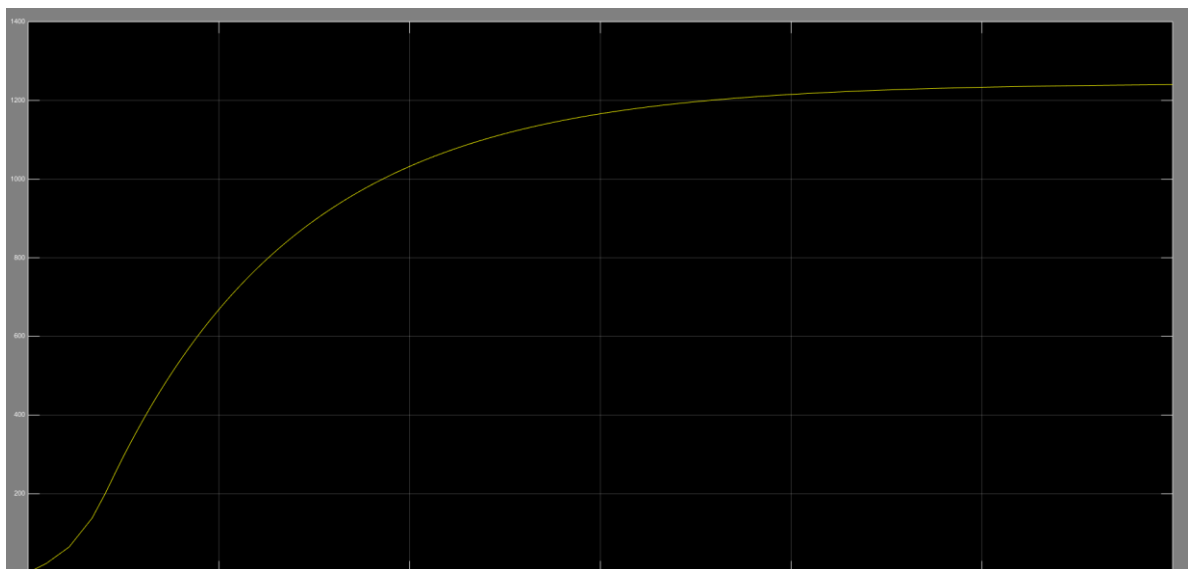


Рисунок 2.9. Графік швидкості для оновленої системи

Після аналізу графіку, я прийшов до висновку що графік швидкості не лінійний і відповідає дійсності, тому що спочатку шток має нульову

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				39
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

швидкість, а потім поступово набирає швидкість. Западина на початку графіку свідчить про вплив маси і сил тертя на прискорення руху.

2.4. Розробка фінальної моделі пневматичного приводу

Наступним етапом додам вихлопну камеру пневматичного циліндру та регульований дросель, чим закінчу додавання елементів до моєї системи.

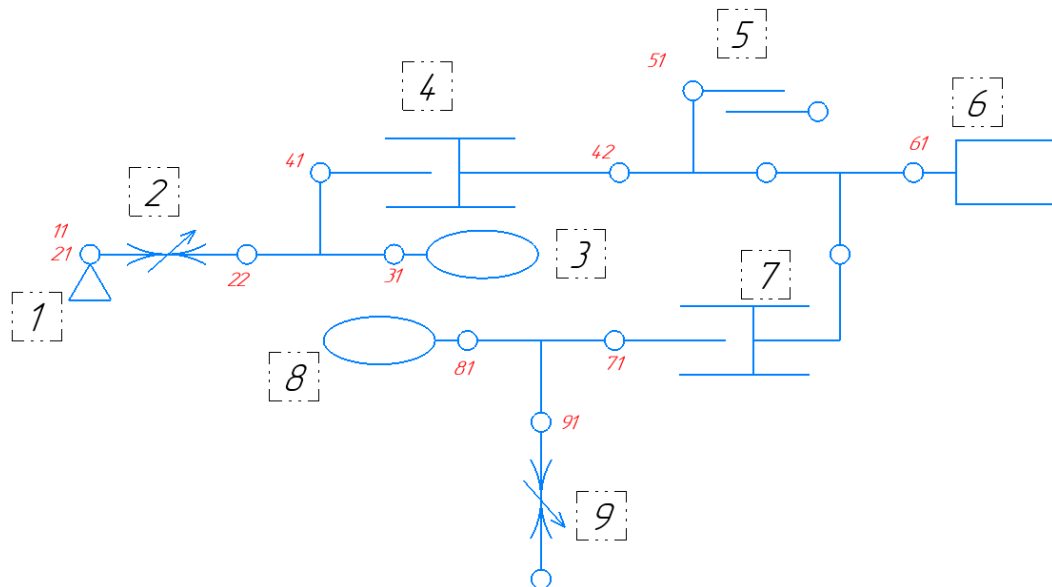


Рисунок 2.10. Схема повної системи для подальшого аналізу

Проаналізувавши повноцінну схему системи, можна побачити, що додалися елементи 7 – перетворювач тиску в витрату, 8 – вихлопна порожнина пневматичного циліндру, 9 – регульований дросель та трійник.

З фізичного процесу розрахункової системи зрозуміло що швидкість для перетворювача 7 є однаковою як і для перетворювача 4, бо це і є фізичний зміст руху поршня, тому справедливе наступне твердження:

$$\frac{dx_{71}}{dt} = \frac{dx_{61}}{dt}$$

Отже тепер, можемо задати рівняння зміни тиску в вихлопній камері пневматичного циліндру, враховуючи тиск в поршневій камері та рух поршня:

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				40
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

$$\frac{dp_{81}}{dt} = \frac{k}{s+x_{OB}-x} \left(-\frac{f_{e.B.} K p_{81}^{\frac{3k-1}{k}} \sqrt{RT_2} \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right)}{A_B} + p_{81} \frac{dx}{dt} \right) \quad (2.19)$$

де s – робочій хід поршня, T_2 – змінна температура у вихлопній камері, $\varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right)$ – значення функції витрати для вихлопної камери, A_B – площа перерізу вихлопної камери.

Значення функції витрати $\varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right)$ можна розписати так [11]:

$$\sqrt{\left(\frac{\frac{p_a}{p_M}}{\frac{p_2}{p_M}}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{\frac{p_a}{p_M}}{\frac{p_2}{p_M}}\right)^{\frac{k+1}{k}}}$$

Так як, T_2 – є змінною температурою, у той час як для при розрахунку тиску у поршневій камері використовувалась постійна температура, то можна виразити її через тиск p_{81} , бо у вихлопній порожнині протікає адіабатичний процес[11]:

$$\frac{dp_{81}}{dt} = \frac{k}{s+x_{OB}-x} \left(-\frac{f_{e.B.} K p_{81}^{\frac{3k-1}{k}} \sqrt{RT_M} \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right)}{A_B p_M^{\frac{k-1}{2k}}} + p_{81} \frac{dx}{dt} \right)$$

Тепер додамо останні елементи до математичної моделі у Simulink.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				41
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

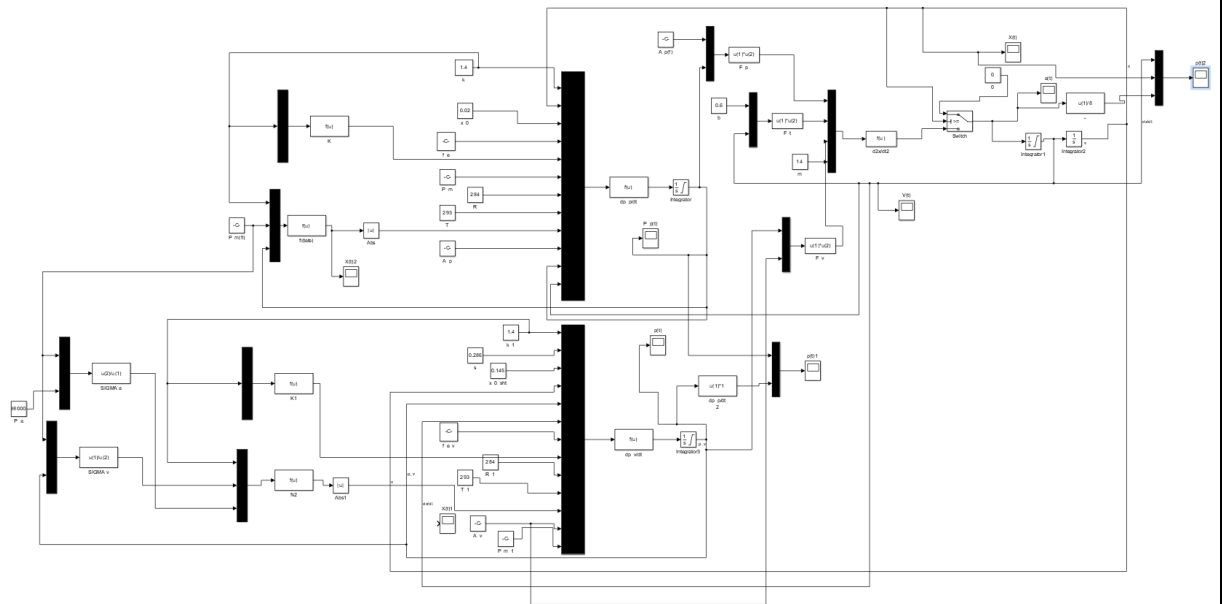


Рисунок 2.11. Розрахункова схема повної системи у SIMULINK

На моделі видно, що додалися елементи, що розраховують зміну тиску в вихлопній порожнині пневматичного циліндру, дросель. Важливо згадати, що попередні схеми не враховували результуючу всіх сил, що діють на поршень пневматично циліндру. Відтепер формула для розрахунку прискорення приймає наступну формулу з системи рівнянь 2.9

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{m} (pF - p_B F_B - \mathbb{P}) \quad (2.20)$$

Після симуляції за часом 0-0,5 секунди отриманий наступний графік:

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунов О.В.				42
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

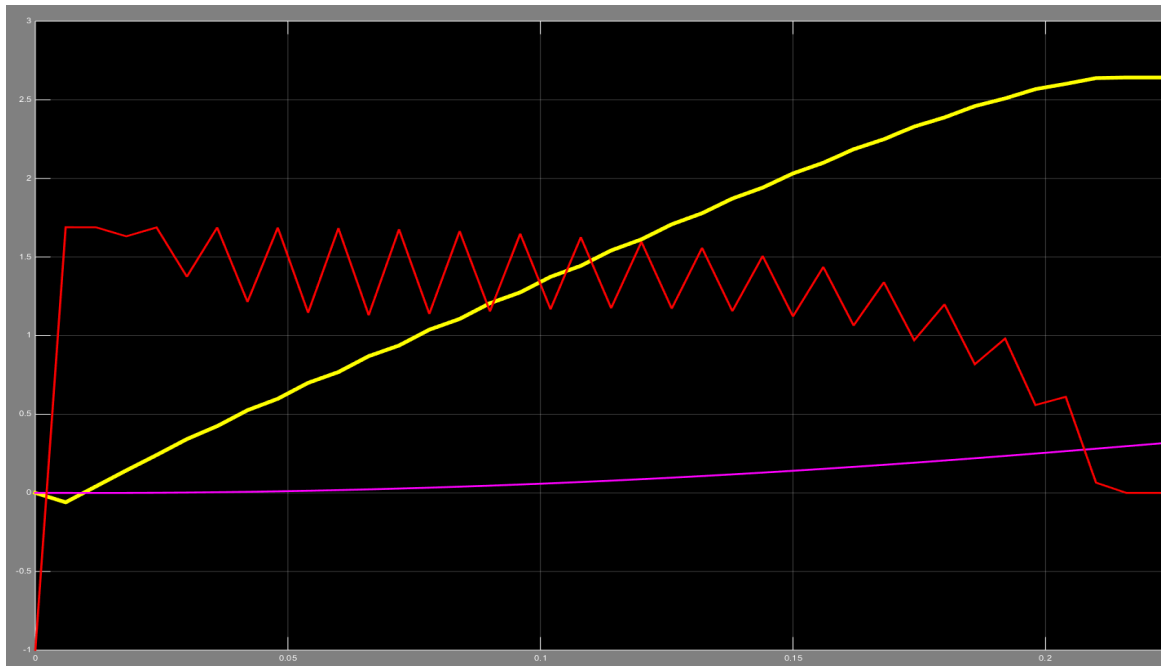


Рисунок 2.12. Фінальний графік прискорення, швидкості та переміщення

На загальному графіку представлені наступні графіки: $a(t)$ – червоний колір, $v(t)$ – жовтий колір, $x(t)$ – фіолетовий колір. Розв’язок інтегральних рівнянь велися методом Рунге-Кутта у середовищі Simulink Matlab з кроком інтегрування 0.006. Максимальне значення прискорення склало 1,76 м/с², максимальне значення швидкості склало 0,28 м/с.

Отриманий графік не протирічить законам фізики, а саме прискорення в точці $x = 0,286$ м, що є довжиною робочого ходу циліндру, дорівнює нулю, що впливає на те, що швидкість стає сталою. На графіку прискорення наявні коливання, що також впливають на нерівномірну швидкість під час розгону поршня пневматичного циліндру. Ці коливання спричинені силами, які діють на поршень, що також є реальним фізичним явищем.

2.5. Тестування математичної моделі

У такому випадку математичну модель вважаємо попередньо відповідною до реальних фізичних процесів, що протикають під час роботи пневматичного приводу розрахункової системи, тому переходимо до наступного етапу, а саме

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				43
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

тестування системи при різних вхідних даних, щоб запевнитися у її відповідності до законів фізики.

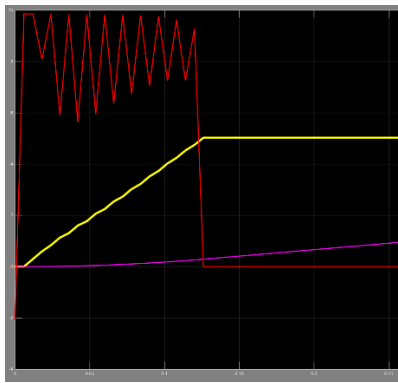
Перше тестування проведемо за змінною маси. Надаю таблицю зі всіма вхідними параметрами системи.

Таблиця 2.1. Значення вхідних параметрів системи

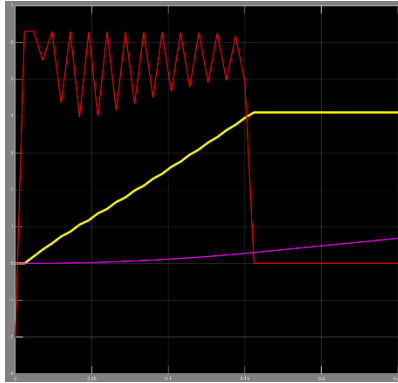
Параметр	Значення	О./В.	Опис
k	1.4	-	Коефіцієнт адіабати
$x_0; x_{0B}$	0.02 ; 0.04	М	Приведені початкові координати поршня
s	0.286	М	Робочий хід поршня
$f_e; f_{e.B.}$	0.00002	м ²	Ефективні площі перерізу вхідного та вихідного отворів
K	8.2825	-	Коефіцієнт
p _м	600000	Па	Тиск нагнітання
p _а	98000	Па	Тиск на виході системи
R	284	Дж/ (кг*град)	Питома газова стала
T	293	К	Температура системи
A _п	0.00083	м ²	Площа перерізу поршневої порожнини
A _в	0.00063	м ²	Площа перерізу вихлопної порожнини
b	0.6	-	Коефіцієнт тертя
g	9.8	-	Прискорення вільного падіння
m	14	кг	Маса вантажу

Розглянемо 3 випадки для маси 7, 10 та 14 кг. Отримані наступні графіки:

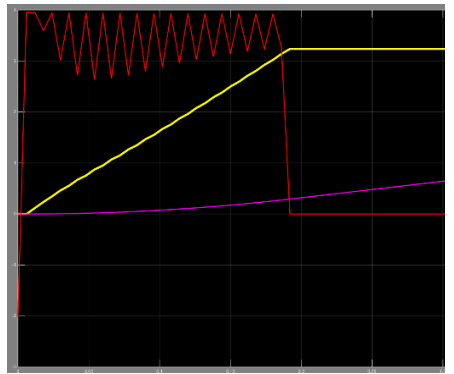
		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				44
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		



а)



б)

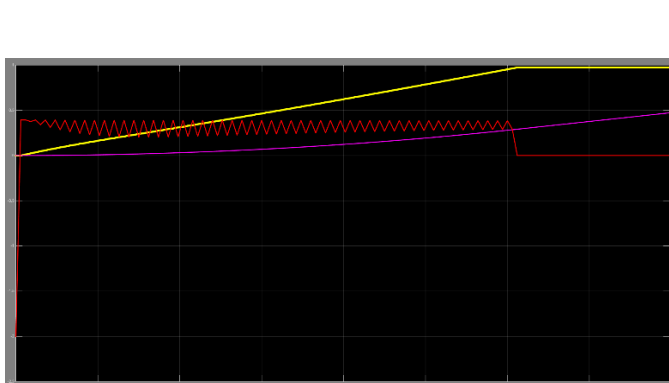


в)

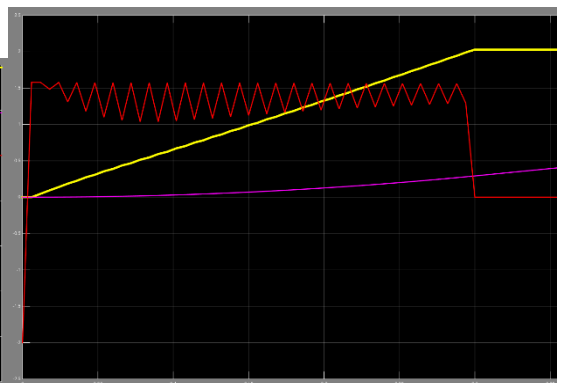
Рисунки 2.13. Графіки тестування системи за масою. а – маса 7кг, б – маса 10 кг, в – маса 14кг

На графіках можна побачити, що збільшилися значення прискорення обернено-пропорційно до маси. Це призвело до того, що швидкість змінилася аналогічно до прискорення по відношенню до маси. Більше того, час за який швидкість вийшла на максимальну теж змінився, наприклад для $m = 7$ кг : час склав 0,11 с, в той час , як для $m = 14$ кг : 0,17 с. Ці зміни підкреслюють відповідність математичної моделі до реальних фізичних процесів, що існують в розрахунковій системі.

Наступним етапом протестуємо вплив різних значень тиску подачі на систему. Всі початкові параметри , крім тиску нагнітання залишаємо без змін, а маса вантажу дорівнює 14 кг. Тест, аналогічно до попереднього, будемо проводити для 3 значень тиску : 2.5, 4 та 6 Бар. Отримано наступні графіки:



а)

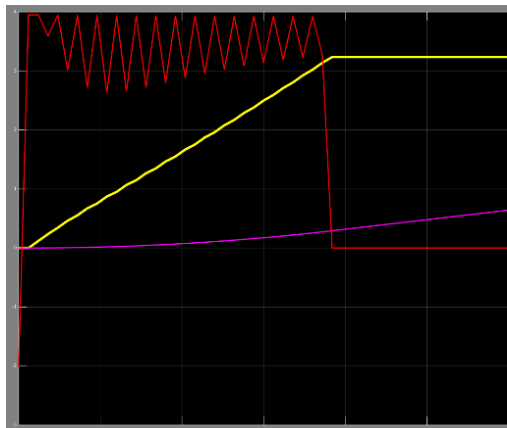


б)

		Мазяєв Г.С.		
		Узунів О.В.		
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата

МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ

Арк.
45



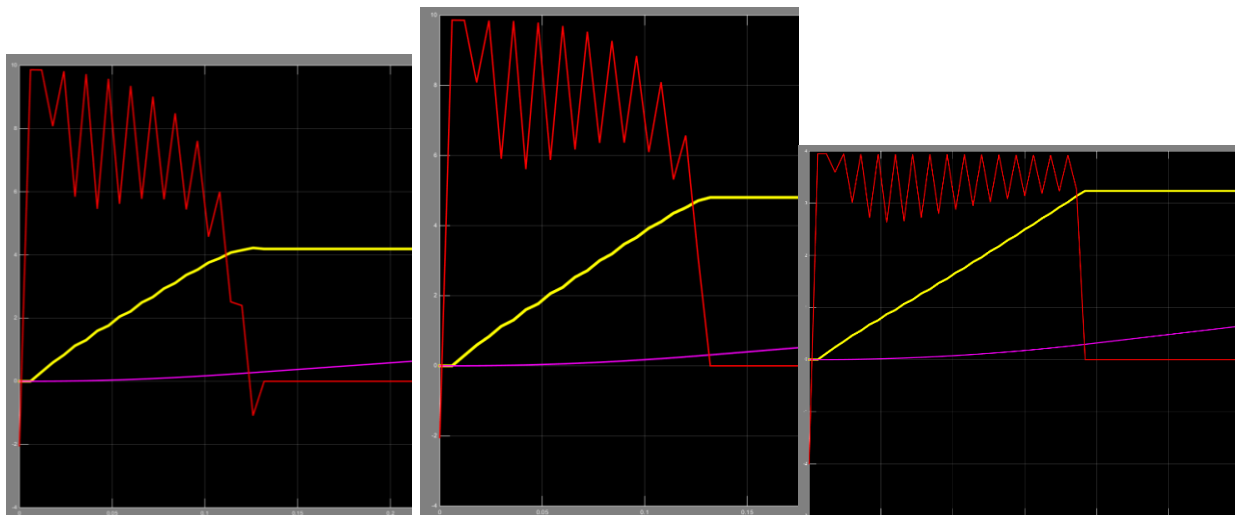
в)

Рисунки 2.14. Графіки тестування системи за тиском нагнітання. а – тиск 2,5 Бар, б – тиск 4 Бар, в – тиск 6 Бар

Після аналізу графіків я прийшов до висновку, що тиск подачі впливає на прискорення, яке в свою чергу впливає на швидкість та переміщення. При тиску в 4 Бари рух до кінцевої точки робочого ходу поршня склад 0,3 с, що більше за час при тиску в 6 Бар. Найбільший час руху було отримано при тиску в 2,5 Бар. Довелося збільшити час симуляції, щоб отримати значення в 0,61 с. Ця реакція системи на зміну тиску також підкреслює коректність системи, яка тестується відносно фізичних законів.

Останній тест стосується впливу площі перерізу вхідного та вихідного отворів з пневматичного циліндру. Всі початкові параметри залишаю без змін, окрім значень f_e ; $f_{e.в.}$, тиск подачі обираю 6 Бар. Аналогічно до попередніх тестів, визначаю 3 площі 25, 31 та 40 мм². Таким чином отримав наступні графіки:

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				46
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		



а)

б)

в)

Рисунки 2.15. Графіки тестування системи за різними площами перерізу дроселя. а – площа 25 мм², б – площа 31 мм², в – площа 40мм²

На графіках видно, що зменшення та збільшення отворів впливає на значення прискорення. Тестування з найбільшими отворами показало найкращий результат швидкості, в той час як найменший отвір показав найбільше гальмування системи, бо зменшений витік повітря з вихлопної камери сповільнює рух поршня. Графіки зі змінною площею перерізу отворів вважаємо правильними відносно фізичних процесів які відбуваються у реальній системі.

Висновки до розділу 2

У розділі 2 покрокова розробка математичної моделі приводу дала змогу зрозуміти зв'язки між елементами системи та точно врахувати усі сили та фактори, що впливають на поршень пневматичного циліндру під час його руху. Отриману систему рівнянь було розв'язано у середовищі MatLab Simulink методом Рунге-Кутта. У результаті розв'язку було отримано графіки прискорення, швидкості та переміщення робочого органа при керуванні розподільником приводу. Для перевірки відповідності фізичним процесам, які

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				47
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

проходять у реальному пневматичному приводі було проведено тестування системи, яке дало графіки залежності впливу параметрів системи, таких як, маса, тиск подачі та площі перерізу дроселів на прискорення. Тестування математичної моделі було пройдено успішно.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				48
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 . ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМАТИЧНОГО ПРИВОДУ

Наступним етапом є дослідження пневматичного приводу моєї розрахункової системи. Спочатку визначимо вплив маси вантажу на прискорення, адже це найважливіший напрямок дослідження для правильного налаштування програми системи.

3.1. Тестове дослідження впливу маси на прискорення

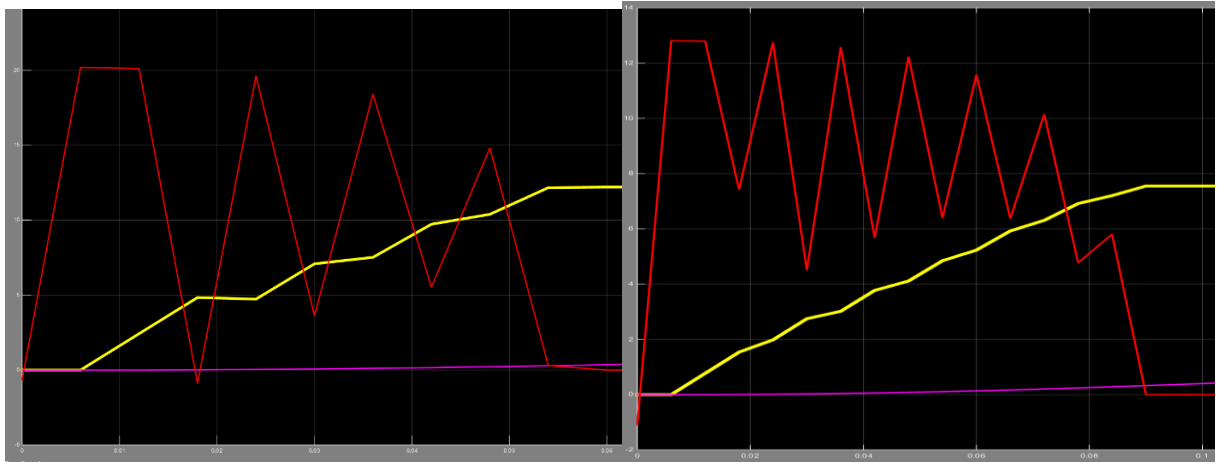
Для цього будемо змінювати масу в моїй системі, щоб отримати графіки прискорень. Початкові параметри для моделювання приймаю з таблиці 2.1. окрім маси, яка є змінною для 6 варіантів. Результати занесемо в таблицю дослідів для різних значень маси.

Таблиця 3.1. Таблиця результатів перевірного досліду

№ Дослід	Значення маси m , кг	Значення максимального прискорення $a_{\max}$, m/s^2
1	1	21
2	3	13
3	7	4,9
4	10	3,2
5	16	1,9
6	20	1,1

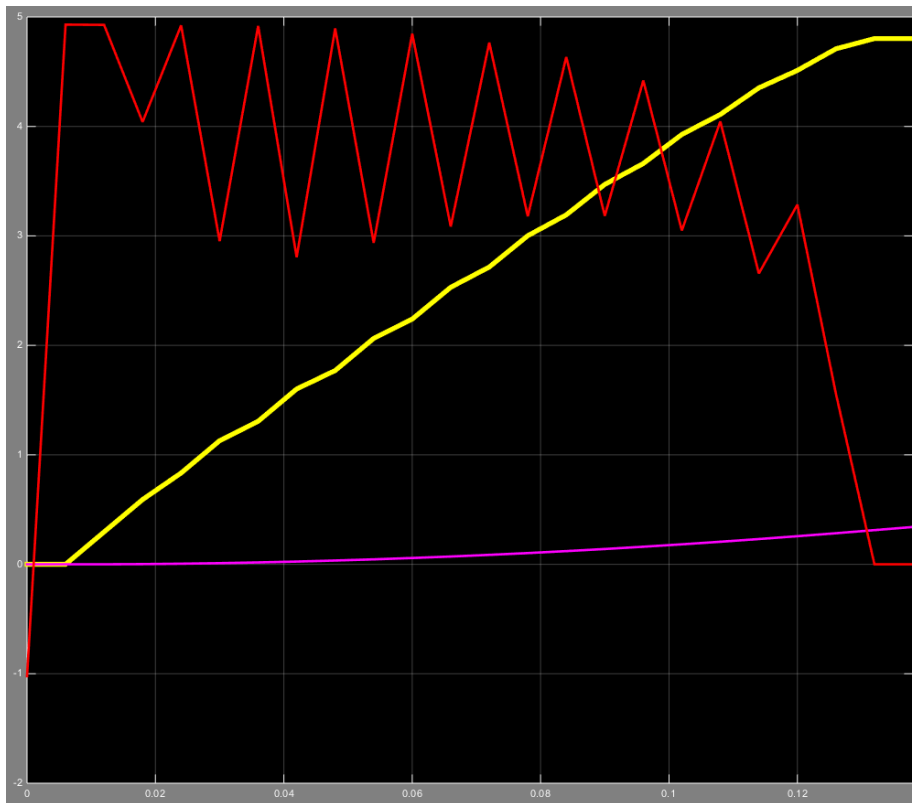
У результаті перевірного дослідження впливу маси на систему отримано наступні графіки:

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				49
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		



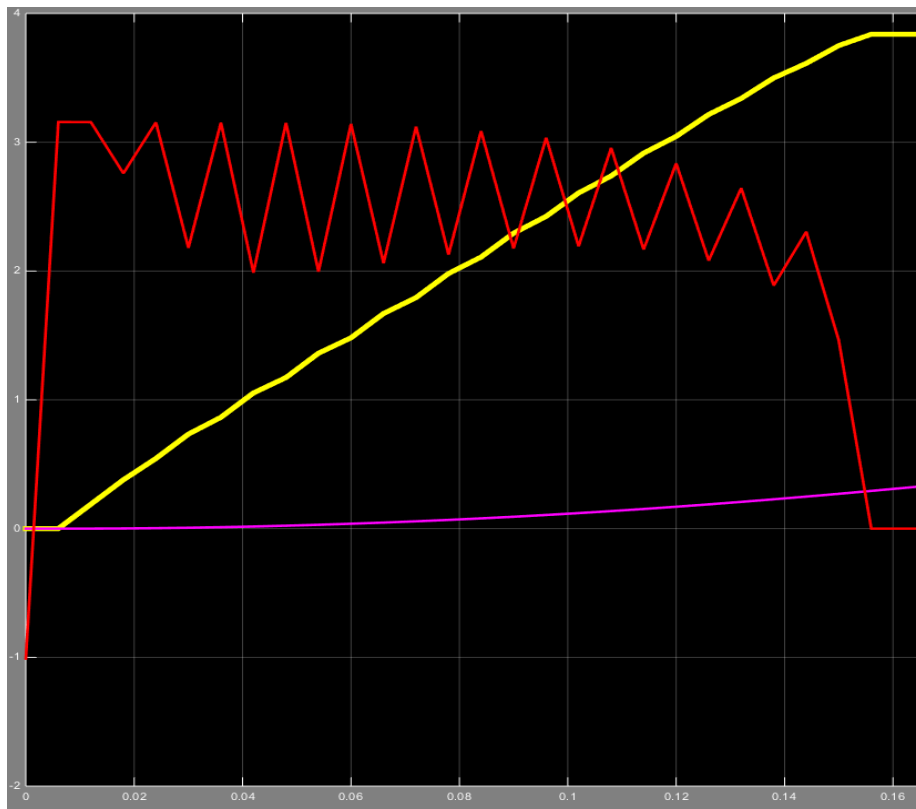
a)

б)

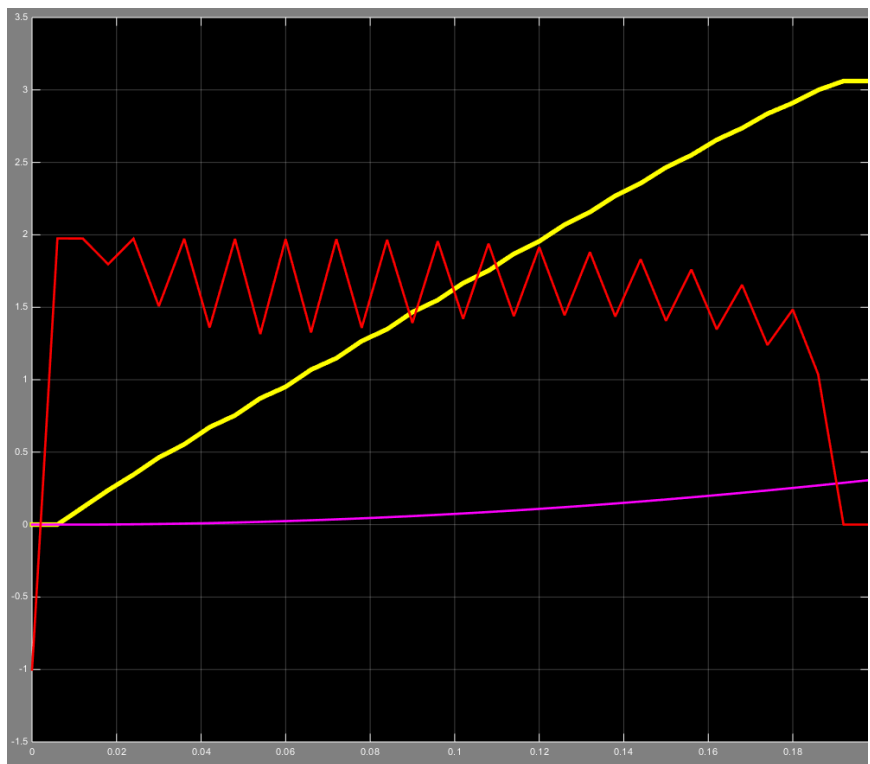


в)

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				50
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

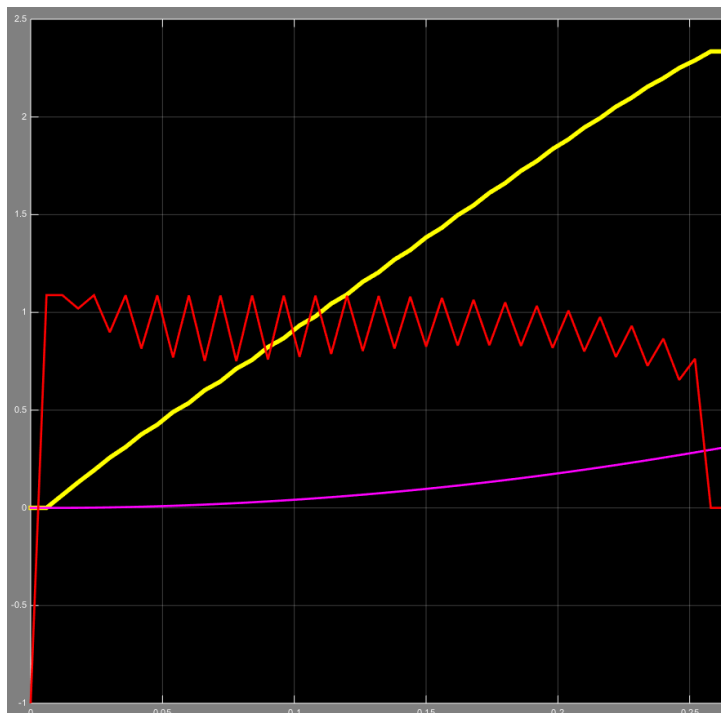


г)



г)

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				51
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		



д)

Рисунки 3.1. Графіки результатів перевірного дослідження при різних масах. а – маса 1 кг, б – маса 3 кг, в – маса 8 кг, г – маса 10 кг, г – маса 16 кг, д – маса 20 кг

На рисунку 3.1 наявні зображені наступні графіки: $a(t)$ – червоний колір, $v(t)$ – жовтий колір, $x(t)$ – фіолетовий колір.

Результати тестового дослідження показали, що при збільшенні маси максимальне значення прискорення зменшується, а час до зупинки поршня збільшується.

3.2. Дослідження впливу маси на прискорення при змінній площі перерізу

Так як система має автоматично керувати витратою, тому важливо врахувати вплив площі перерізу камери розподільника(дроселя) при різних масах на прискорення.

Дослід будемо проводити змінюючи масу від 1 - 20 кг для кожного з 5 значень перерізу розподільника. Важливо зазначити, що перерізи камер розподільника призначаю рівними. Отримані результати надамо у таблиці.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				52
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

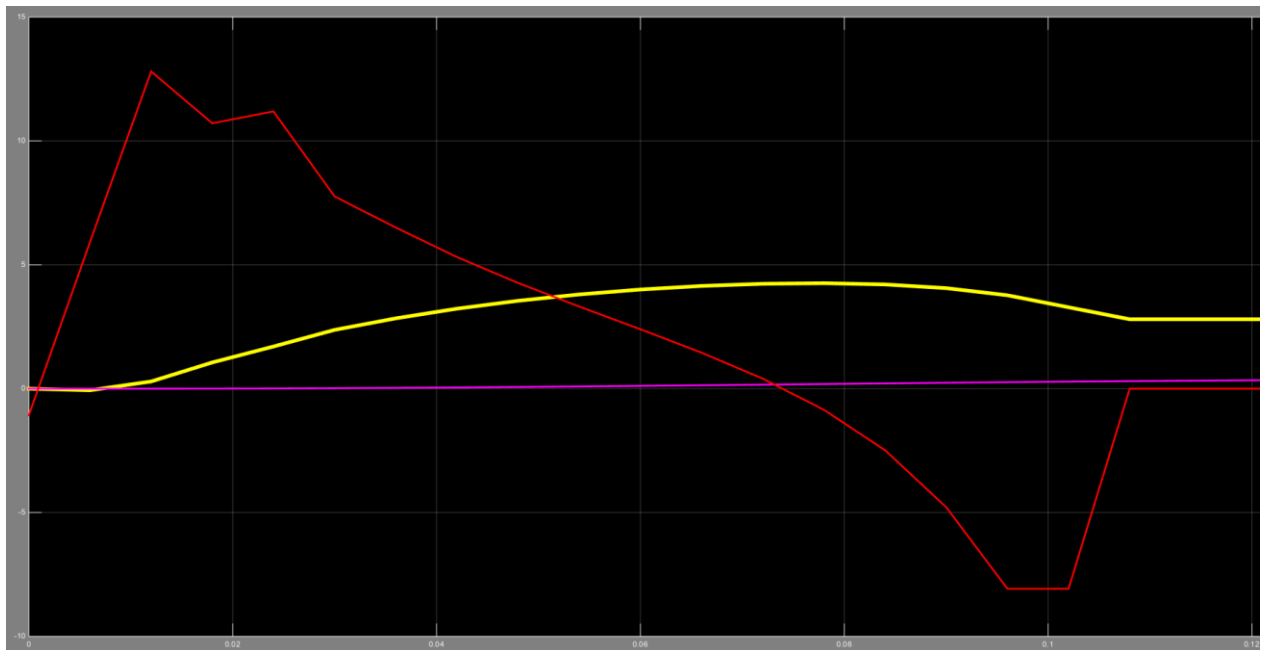
Таблиця 3.2. Результати дослідження впливу значення площі перерізу розподільника при різних масах

Площа перерізу розподільника $F, \text{м}^2$	Значення маси $m, \text{кг}$	Значення максимального прискорення $a_{\text{max}}, \text{м/с}^2$	Час до зупинки поршня, с
0,000002	1	39,6	0.08
	3	25,6	0.11
	7	9,8	0.15
	10	6,3	0.18
	16	1,6	0.24
	20	2,1	0.3
0,000005	1	20.05	0.06
	3	12.9	0.08
	7	4.92	0.14
	10	3.16	0.16
	16	1.608	0.23
	20	1.08	0.27
0,00001	1	20.2	0.059
	3	12.82	0.09
	7	4.94	0.135
	10	3.17	0.16
	16	1.61	0.22
	20	1.1	0.26
0,000015	1	22.1	0.058
	3	15.6	0.082
	7	5.4	0.12
	10	3.45	0.15

		Мазарев Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунув О.В.				53
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

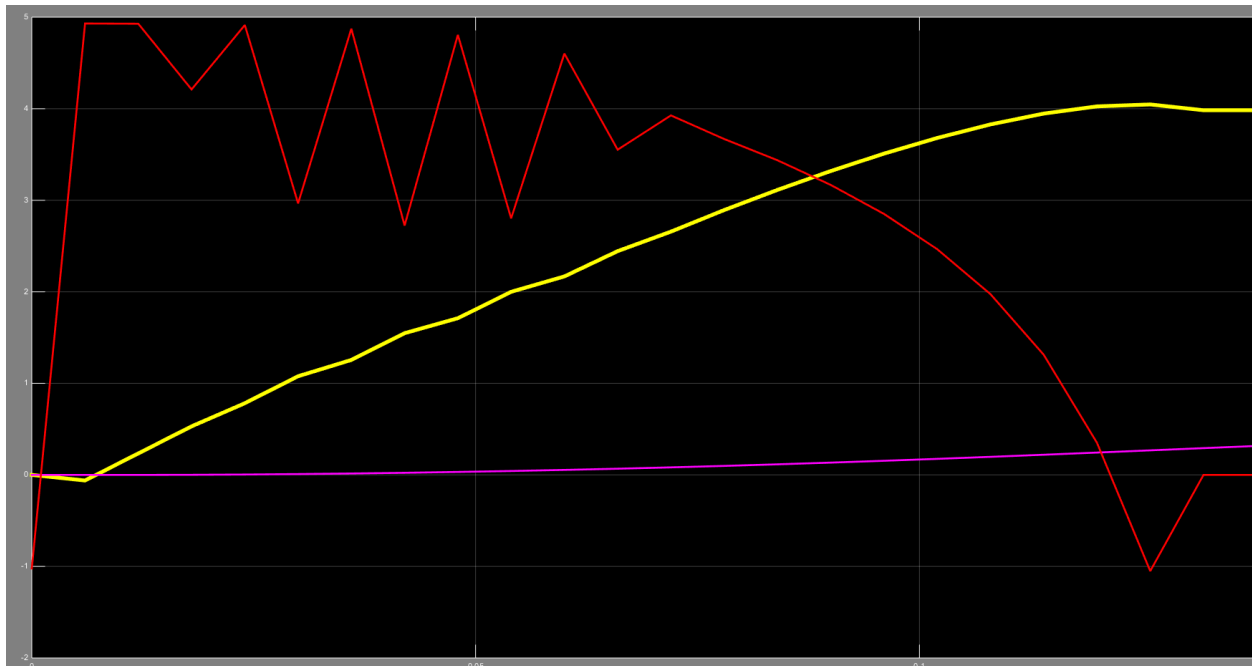
	16	1.7	0.22
	20	1.08	0.25
0,00002	1	25.2	0.052
	3	19.7	0.048
	7	6	0.11
	10	4.2	0.138
	16	1.95	0.19
	20	1.42	0.23

Після проведення дослідження отримано графіки впливу маси на прискорення при різних значеннях площі перерізу дроселів. Графіки є типовими, тому для наочності надамо по 1 графіку для деяких значень площі перерізу.

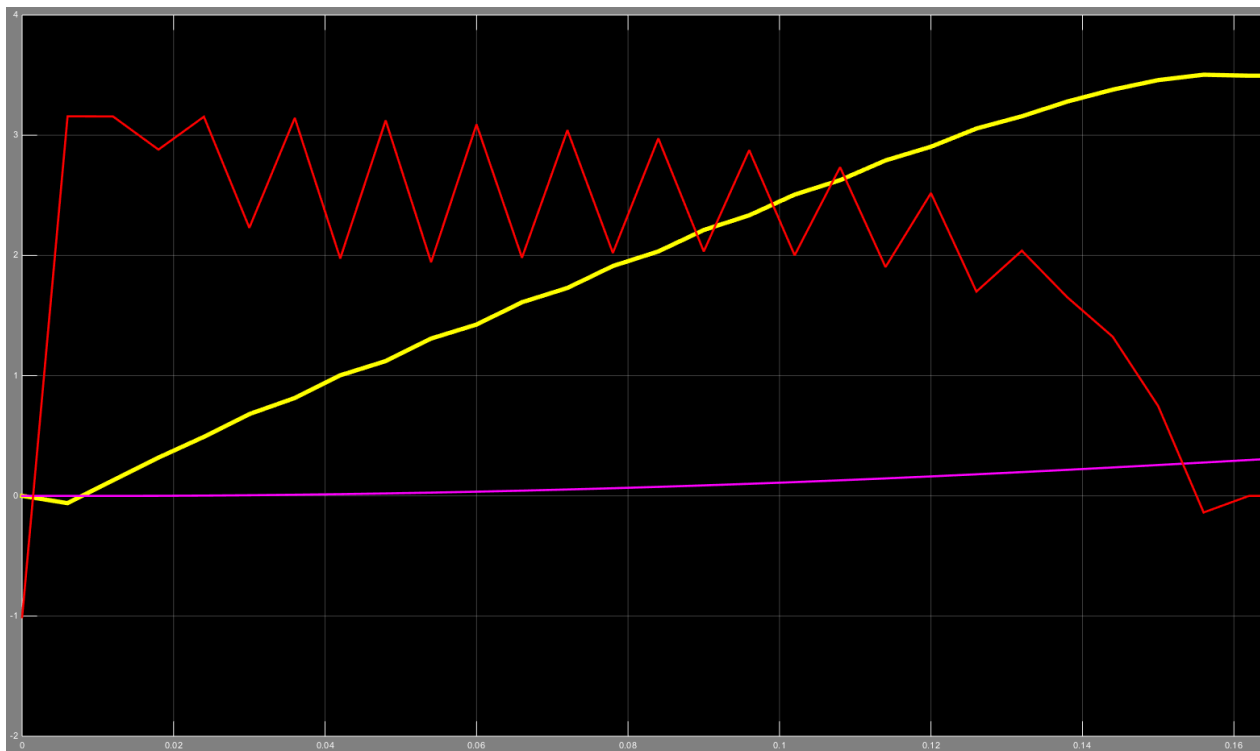


а)

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				54
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		



б)



в)

Рисунки 3.2. Графіки результатів дослідження впливу значення діаметру на прискорення. а – діаметр 2 мм², маса 1 кг; б – діаметр 5 мм², маса 7 кг; в – діаметр 10 мм², маса 10 кг.

		Мазаєв Г.С.		
		Узунів О.В.		
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата

МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ

Арк.
55

Якщо проаналізувати графіки, то можна прийти до висновку, що зі збільшенням площі перерізу розподільника, максимальне значення прискорення(червоний графік) теж збільшується, що є логічним, бо збільшення отвір призводить до зростання витрати, яка створює більший тиск у камері. Цей тиск трансформуючись у енергію, рухає поршень з більшим прискоренням, тому дослід вважаю успішним.

Для точнішого аналізу інтерпретуємо дані таблиці 3.2. у графіки в середовищі EXCEL для всіх 5 значень площ перерізу розподільника.

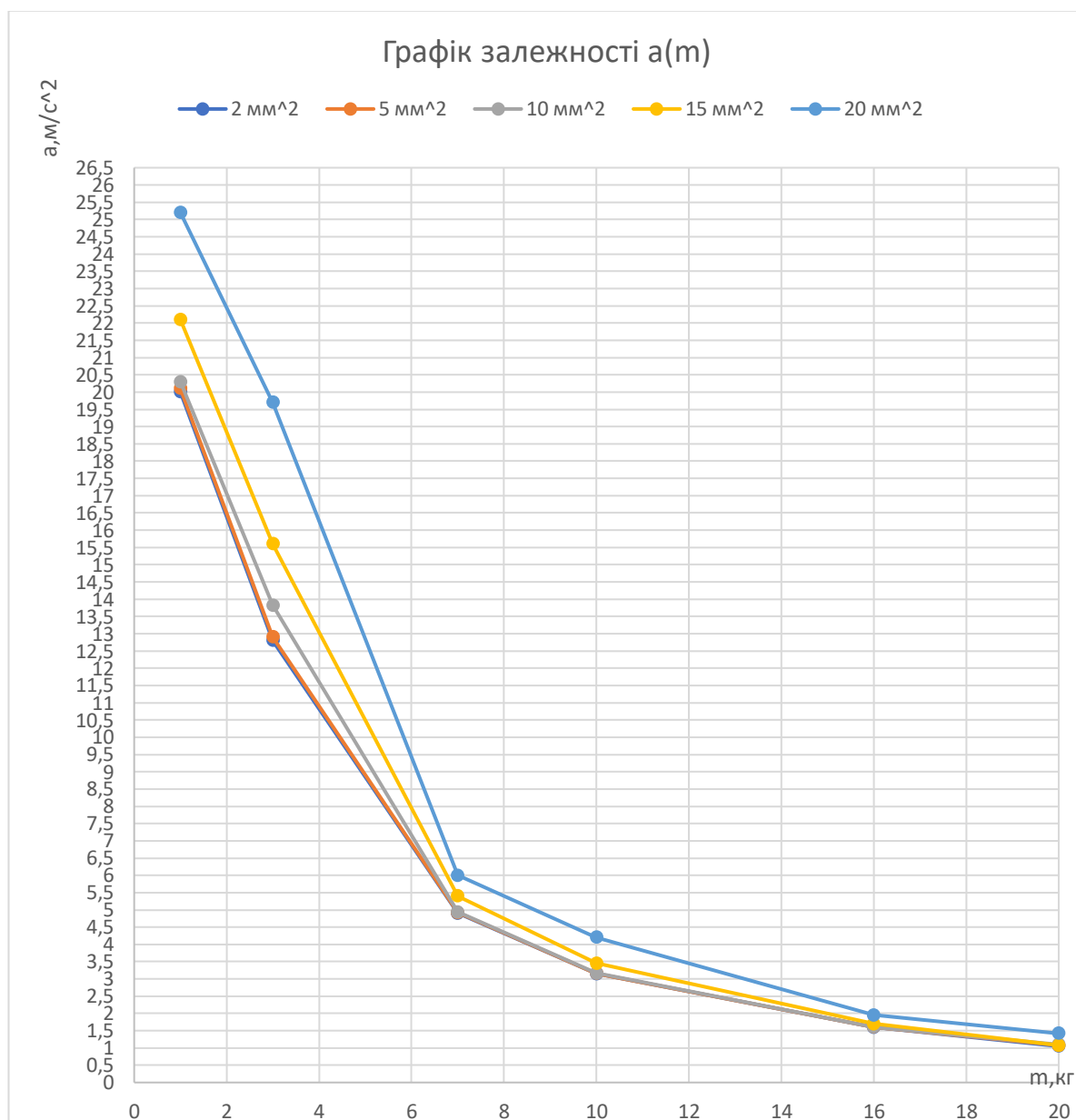


Рисунок 3.3. Графік залежності прискорення від маси

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				56
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Якщо проаналізувати графік, можна побачити, що на проміжку площ перерізів від 2 до 10 мм прискорення майже не відрізняються за значеннями, але на проміжку від 10 до 20 мм вже відбуваються достатньо суттєве пропорційне збільшення прискорення. Також важливо зауважити, що при великій вазі у 20 кг прискорення майже не змінюється при зміні площ перерізів розподільника.

3.3. Аналіз пневматичної системи вакуумного захоплювача

До вакуумних захоплюючих пристроїв належать такі пристрої, які утримують деталь завдяки силі притягання, що виникає внаслідок різниці атмосферного й залишкового тисків у порожнині, утвореної присмоктувачем і поверхнею об'єкта (заготовки, деталі, виробу) [20].

Отже, знаючи характер впливу маси на прискорення при змінній площі перерізу дроселя, можна приступити до аналізу проблеми відриву вантажу від вакуумного захоплювача при великому прискоренні. У маніпуляторі, що розробляється за керування вакуумного захоплювача відповідає окрема пневматична система, що складається з окремого компресору, пропорційного розподільника, ежектору та захоплювача.

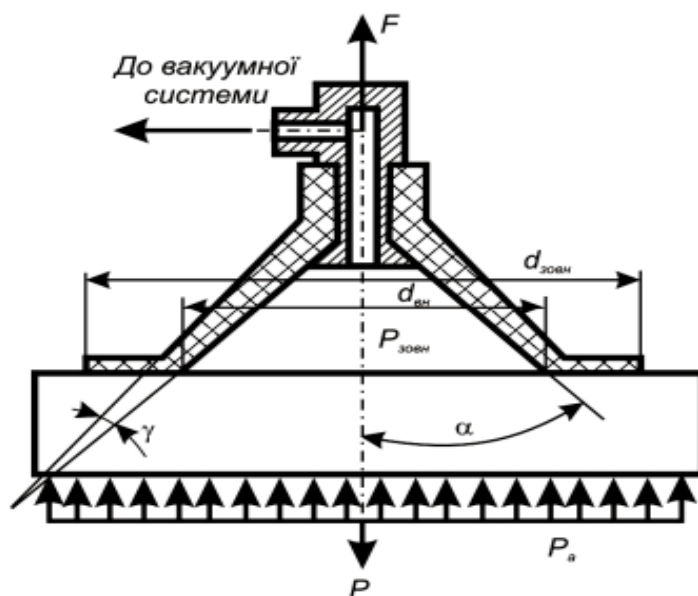


Рисунок 3.4. Схема вакуумного захоплюючого пристрою [20]

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				57
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Зазвичай розрахунок вакуумних захоплюючих пристроїв зводиться до забезпечення умови [20]:

$$F_y > P_{\text{від}} \quad (3.1)$$

де F_y – сила утримання, $P_{\text{від}}$ – сила відриву

Сила відриву визначається за формулою [20]:

$$P_{\text{від}} = m * K_r \quad (3.2)$$

де m – маса вантажу, K_r – коефіцієнт роботоздатності горизонтального положення(1,6...1,8)

Сила утримання визначається таким чином [20]:

$$F_y = SK_s(P_a K_a - P_z)K \quad (3.3)$$

де S – площа, обмежена внутрішнім контуром присосу, K_s – коефіцієнт зменшення площі присмоктувача внаслідок деформації ущільнення($K_s=0,95...1$ – для ущільнення з пористих гум), K_a – коефіцієнт, яким враховують зміни атмосферного тиску($K_a = 0,9$), K – коефіцієнт запасу зусилля піднімання($K = 1,15 \dots 1,5$), P_a – атмосферний тиск, P_z – залишковий тиск.

Площа, яка обмежена внутрішнім контуром присосу розраховується за наступною формулою:

$$S = \frac{\pi d_b^2}{4} \quad (3.4)$$

де d_b – діаметр зони вакуумування

За формулою 3.2 розрахую силу відриву для маси 7 кг:

$$P_{\text{від}} = m * K_r = 7 * 1,7 = 11,9 \text{ Н}$$

Так як для розрахування підйимальної сили необхідно знати залишковий тиск P_z , який визначений у характеристиках ежектора, то спочатку потрібно обрати ежектор.

Обраний ежектор має наступні характеристики

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				58
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Модель	Діаметр, мм	Витрата л/хв.	Вакуум, бар	Витрата повітря, л/хв.
CV-10HS	1.0	27	0,85	44
CV-10LS		36	0,572	

Рисунок 3.5. Характеристики вакуумного ежктора

Тиск на вході ежктора від 1 до 6 Бар. Для обраного ежктору приймаю залишковий тиск рівним $P_3 = 0,85$ Бар, або 85000Па.

Важливо зазначити, що для заходження площі вакуумування, потрібно знати діаметр зони вакуумування. Його будемо обирати методом підбору. На першому наближенні обираю діаметр рівним $d_b = 120$ мм

Отже розрахую площу, обмежену контуром присосу за формулою 3.4.

$$S = \frac{\pi d_b^2}{4} = 0,011304 \text{ м}^2$$

Тепер, коли відомі всі значення для розрахунку сили утримання, можемо розрахувати за формулою 3.3

$$F_y = SK_s(P_a K_a - P_3)K = 0,0113 \cdot 0,97 \cdot (0,9 \cdot 98000 - 85000) \cdot 1,21 = 42,441 \text{ Н}$$

За отриманими значеннями, а саме $F_y = 42,4$ Н та $P_{\text{від}} = 11,9$ Н, робимо висновок що умова 3.1 виконується.

Отримавши значення сили утримання необхідно розрахувати силу, яка діє на масу при підйомі ланки маніпулятора пневмоприводом. За 2 законом Ньютона виведу силу :

$$F_{\Pi} = a * m \quad (3.5)$$

де F_{Π} – сила підйому (в моєму випадку).

З графіку 3.3 знайду значення прискорення при максимальній площі камери розподільника для кожної маси. Для цього проведу перпендикуляри до кожної з осей графіку. Почнемо з маси в 7 кг, для нього прискорення $a_7 = 6$ м/с².

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				59
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

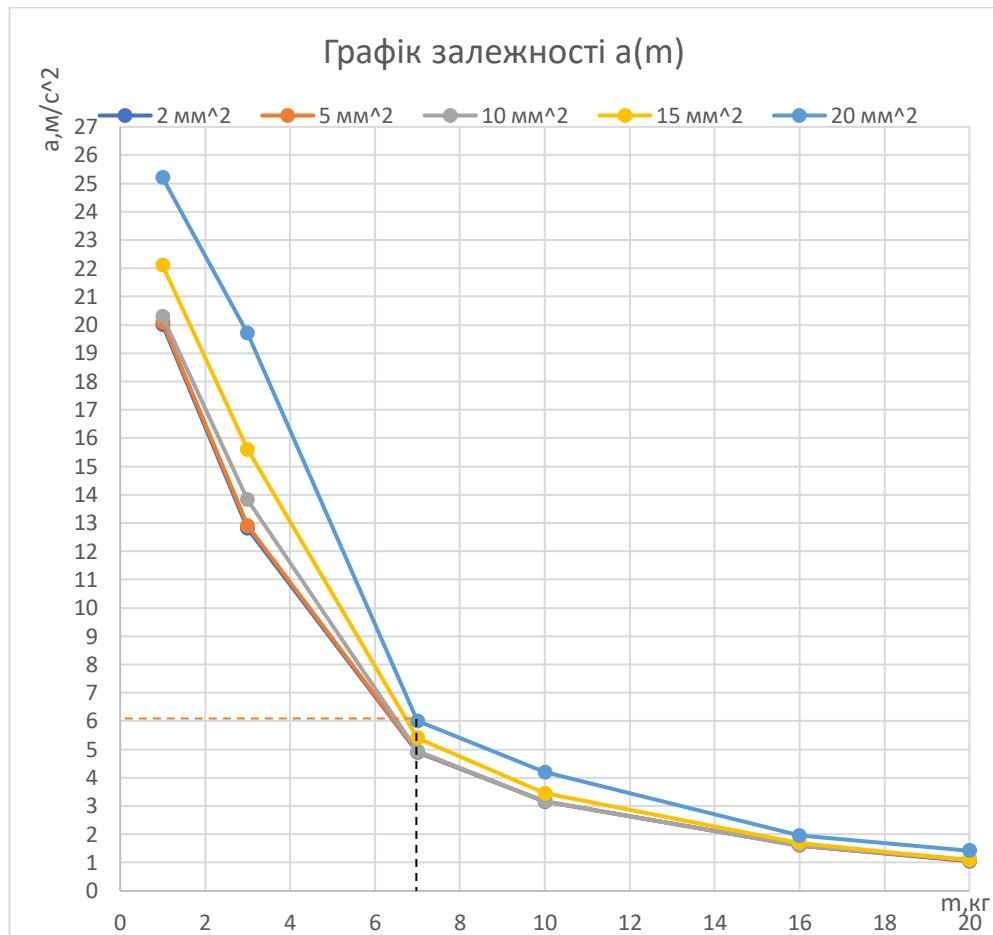


Рисунок 3.4. Визначення прискорення для маси в 7 кг

За 2 законом Ньютона знайду силу, яка діє на вакуумний захоплювач з масою при підйомі:

$$F_{п.7} = a_7 * m = 6 * 7 = 42 \text{ Н}$$

Найголовнішим є виконання умови що сила утримання має бути більша за силу, яка підіймає:

$$F_{ут} > F_{п} \quad (3.6)$$

На цьому етапі для маси в 7 кг умова виконується, а це означає що система, зможе підняти вагу при максимальному розкритті камери розподільника та коригування системи у вигляді зміни витрати не потрібне.

Важливо врахувати, що ланка з вакуумних захоплювачем підіймається не на 90 градусів тобто не перпендикулярно підлозі, а під певним кутом. Саме тому необхідно рахувати силу як результуючу, що діє вздовж осей X та Y.

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				60
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

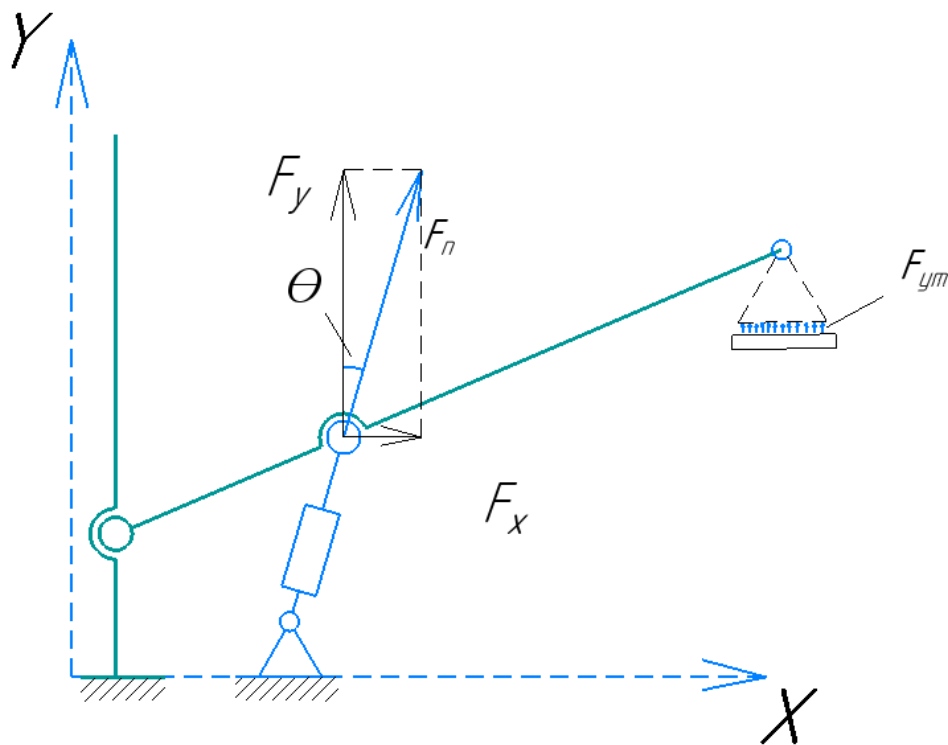


Рисунок 3.5. Схема розкладання результуючої сили на складові

Так як при кожному переміщенні ланка підіймається у найвище положення то саме для нього і розрахую результуючу для кожної з мас. Кут підйому $\Theta = 30$ градусів.

Формула для розрахунку складової сили вздовж осі X -- F_x :

$$F_x = F_n * \cos(\Theta) \quad (3.7)$$

Формула для розрахунку складової сили вздовж осі Y -- F_y :

$$F_y = F_n * \sin(\Theta) \quad (3.8)$$

Отже тепер розрахую складові сили для маси в 7 кг :

$$F_x = F_{n.7} * \cos(25) = 36,37 \text{ Н} ; F_y = F_{n.7} * \sin(25) = 21 \text{ Н}$$

Сума цих складових є повною силою утримання за якою потрібно аналізувати виконання умови 3.6. У випадку коли $F_{xy.7} = 57,37 \text{ Н}$, умова 3.6 не виконується, тому зменшу площу перерізу у другому наближенні, а потім аналогічно розрахую складові сили та просумую їх для отримання повної сили утримання.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				61
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Для другого наближення повна сила, яка діє на вантаж при підйомі $F_{xy.7} = 40,82$ Н. Умова 3.6 виконана, тому в такому випадку після зважування система має автоматично зменшити відкриття камери розподільника до приблизно 75% від повністю відкритого стану. У такому випадку вантаж не відірветься й маніпулятор спрацює правильно.

Тепер знайду прискорення для максимальної площі перерізу камери розподільника при масі в 10 кг, для нього прискорення $a_{10} = 4,18$ м/с² (з рисунку 3.5)

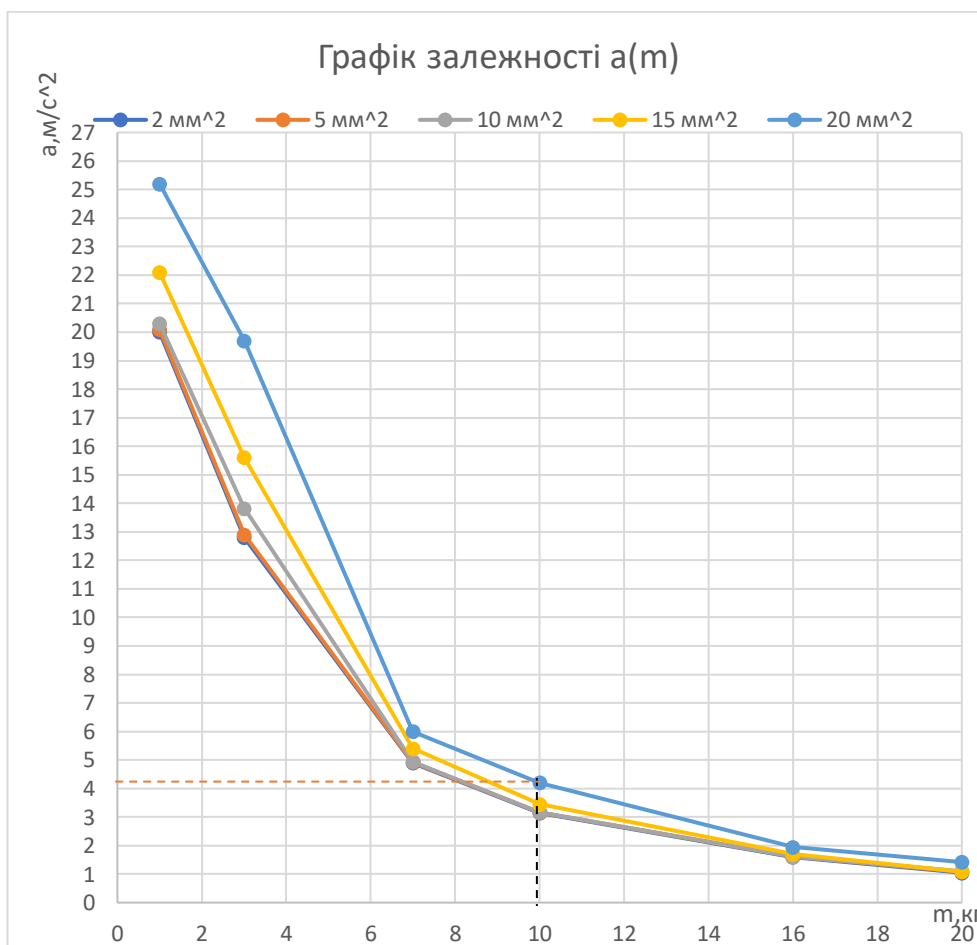


Рисунок 3.5. Визначення прискорення для маси в 10 кг

За 2 законом Ньютона знайду силу, яка діє на вакуумний захоплювач з масою при підйомі:

$$F_{п.10} = a_{10} * m = 4,18 * 10 = 41,8 \text{ Н}$$

Складові сили при для маси в 10 кг куті в 25 градусів склали:

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				62
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

$$F_{x.10} = 30,2 \text{ Н}; F_{y.10} = 11,7 \text{ Н}$$

Для маси в 10кг при $F_{xy.10} = 41.9 \text{ Н}$ умова також виконується, зменшення витрати для системи не потрібне.

Аналогічно розрахую підйомну силу для маси в 16 кг та перевірю виконання умови:

$$F_{п.16} = a_{16} * m = 1,7 * 16 = 27,2 \text{ Н}$$

Складові сили для маси в 16 кг при куті в 25 градусів склали:

$$F_{x.16} = 23,1 \text{ Н}; F_{y.16} = 7,2 \text{ Н}$$

Таким самим чином розрахую підйомну силу для маси в 20 кг та перевірю виконання умови:

$$F_{п.20} = a_{20} * m = 1,42 * 20 = 28,4 \text{ Н}$$

Складові сили для маси в 20 кг при куті в 25 градусів склали:

$$F_{x.20} = 24,6 \text{ Н}; F_{y.20} = 6,8 \text{ Н}$$

Умова 3.6 виконується як для маси в 16 кг, так і для маси в 20 кг. Жодних додаткових налаштувань системи не потрібно.

На проміжку досліджуваних великих мас від 10 до 20 кг не було випадку перевищення сили підйому над силою утримання, але так як зміна значень прискорення для наступних ще більших мас стрімко зменшується, що видно з графіку 3.3, то така тенденція призведе до того, що сили підйому за рахунок великої маси і малого прискорення стане більшою за силу утримання і вантаж відірветься. Це і буде максимально допустимою масою яку може підняти маніпулятор.

Тепер аналогічно до попередніх мас, розрахую силу для маси в 3 кг:

$$F_{п.3} = a_3 * m = 19,7 * 3 = 59,1 \text{ Н}$$

Умова 3.6 не виконується, тому розрахую у другому наближенні для меншої площі перерізу камери розподільника:

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				63
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

$$F_{п.3.2} = a_{3.2} * m = 15,6 * 3 = 46,8 \text{ Н}$$

Умова 3.6. знову не виконалася, тому ще зменшуємо переріз:

$$F_{п.3.3} = a_{3.3} * m = 13,82 * 3 = 41,2 \text{ Н}$$

Складові сили для маси в 3 кг при куті в 25 градусів в третьому наближенні склали:

$$F_{x.3.3} = 37,3 \text{ Н}; F_{y.3.3} = 7,5 \text{ Н}$$

Умова 3.6 не виконалася для $F_{xy.3.3} = 44,8 \text{ Н}$, тому зменшу діаметр отвору до 5 мм²

$$F_{п.3.4} = a_{3.4} * m = 12,9 * 3 = 38,7 \text{ Н}$$

Складові сили для маси в 3 кг при куті в 25 градусів в четвертому наближенні склали:

$$F_{x.3.4} = 35,4 \text{ Н}; F_{y.3.4} = 6,2 \text{ Н}$$

Для площі в 2 мм² при $F_{xy.3.4} = 41,6 \text{ Н}$ умова 3.6 виконана. В такому випадку після зважування система має автоматично зменшити відкриття камери розподільника до 25% від повністю відкритого стану.

Останнім розрахую силу підйому для маси в 1 кг :

$$F_{п.1} = a_1 * m = 25,2 * 1 = 25,5 \text{ Н}$$

Складові сили для маси в 1 кг при куті в 25 градусів:

$$F_{x.3.4} = 23,5 \text{ Н}; F_{y.3.4} = 10,3 \text{ Н}$$

Умова 3.6 для маси в 1 кг при $F_{xy.1} = 33,8 \text{ Н}$ виконана. На перший погляд цей результат здається помилковим, адже 1 кг менше за 3 кг, але справа тут в лівій частині рівняння а саме в силі утримання. Щоб підняти масу вагою в 1кг потрібно отримати значення сили в 9,8 Н, в той час, як для розрахункової системи при масі в 1 кг значення сили утримання склало 42,4 Н, що є більшим в 4,32 рази. Саме тому навіть при великому прискоренні вантаж не відірветься.

Обрані значення площі перерізу, для яких виконується умова 3.6 з графіку 3.3 відносно маси занесемо у таблицю 3.3. Також важливо розрахувати тиски на поробленій ділянці від 2 до 6 кг з кроком у 1 кг.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				64
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3. Значення площ перерізу відносно маси вантажу

Маса m, кг	Площа перерізу камери розподільника, мм ²
1	20
2	10
3	2
4	2
5	5
6	5
7	15
10	20
16	20
20	20

Висновки до розділу 3

У цьому розділі зроблене тестове дослідження впливу маси на прискорення та час до зупинки поршня показало очікуванні результати та продемонструвало відповідність симуляції фізичних процесів математичної моделі до реальних фізичних процесів. Проведене основне дослідження впливу маси на прискорення при різних площах перерізу дросельних отворів розподільника дозволило визначити залежність прискорення робочого органу від величини маси вантажу. Результатом аналізу пневматичної системи вакуумного захоплювача, стало розрахування значення сили утримання, яка була порівняна з розрахованою силою підйому для кожного значення для мас на проміжку від 1 до 20 кг. У результаті це дало змогу визначити проблемну ділянку від 2 до 7 кг, де мають бути застосовані дії, серед усіх протестованих мас. На визначеній ділянці сила утримання була меншою за силу, яка діяла на вакуумних захоплювач з масою при підйому ланки маніпулятора, що б

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				65
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

призвело до падіння вантажу, але зменшення площі перерізу призвело до того, що сила утримання знову стала більшою за силу підйому, що в свою чергу унеможливило падіння вантажу. Важливим висновком стало, що для маси в 1кг сила утримання настільки велика, що великі прискорення підйому ланки не можуть відірвати вантаж.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				66
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ АДПТИВНИМ ПРИВОДОМ

За результатами 3 розділу виявлено наступну проблему, а саме : на проміжку від 3 до 7 кг сила утримання менше за силу, яка діє на вакуумний захоплювач при підйомі ланки маніпулятора. Це в свою чергу стане причиною падіння вантажу та імовірно його пошкодженням.

Рішенням цієї проблеми є встановлення пропорційного розподільника для контролю відкриття порожнин та регулювання витратою пневматичного приводу.

Контроль маси вантажу буде реалізовано через датчик тиску, встановлений перед поршневою камерою пневматичного циліндру. Так як при збільшенні маси вантажу буде утворюватися більший тиск у поршневій камері, то вважаємо таку реалізацію контролю маси доцільною та коректною.

4.1. Розрахунок маси через значення вимірюваного тиску

Так як в системі встановлений датчик тиску, системі перед розрахунками необхідно ідентифікувати масу вантажу. В розрахунковій системі, навантаження, що діє на шток циліндру є силою тяжіння , бо вона діє протилежно вектору руху поршня, тому для розрахунку маси вантажу за значенням тиску в поршневій камері від датчика скористаюся наступною формулою:

$$m = \frac{A \cdot P}{g} \quad (4.1)$$

де P – значення тиску, A – площа перерізу поршневої камери пневматичного циліндру, g – гравітаційна постійна .

Отримані значення маси будуть використовуватися для знаходження прискорення за графіком та , у результаті, перевірки виконання умови 3.6.

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				67
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

4.2. Апроксимація проміжних значень прискорення

У реальній системі маса вантажу не обов'язково може бути рівною 3 або 7 кг. Дуже часто будуть зустрічатися проміжні маси, наприклад 2,3 кг або 4,7 кг, тому важливо зробити апроксимацію, щоб запевнитися у тому, що сила утримання вантажу з проміжним значенням маси буде більшою за силу яку потрібно подолати для підйому вантажу, що в свою чергу не призведе до відриву вантажу.

Апроксимацію проведемо у середовищі EXCEL, за допомогою лінії тренду для кожної з кривих графіку у поліміяльному режимі зі ступенем 5. Після проведеної апроксимації отримано наступний графік.

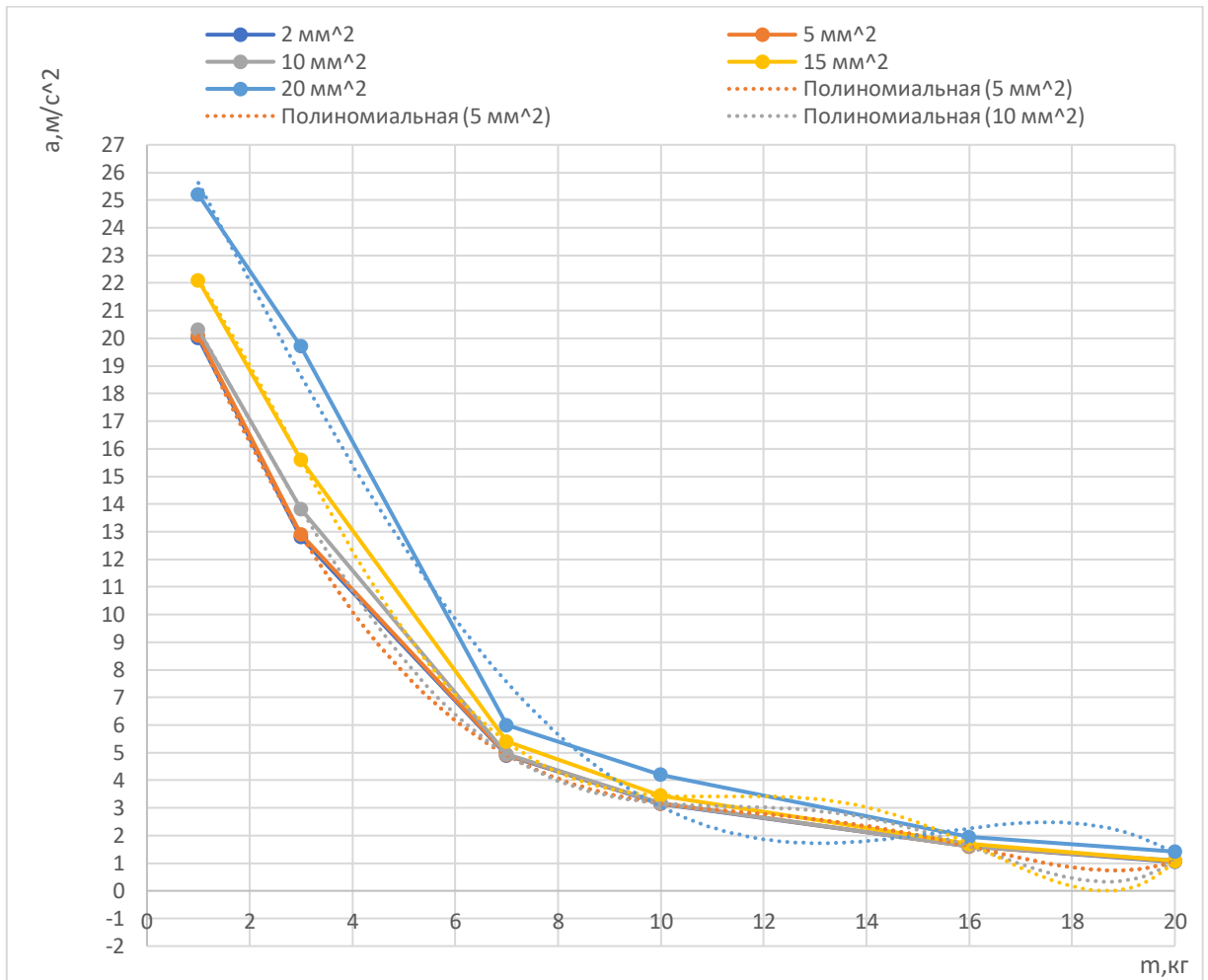


Рисунок 4.1. Апроксимація графіків залежності прискорення від маси

Нас не дуже цікавлять проміжні значення прискорення на проміжку від 0 до 2 кг та від 7 кг до максимальної вантажопідйомності, бо для цих мас

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				68
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

максимальної площі перерізу камери розподільника достатньо для правильної роботи маніпулятора. Саме тому на проміжку від 2 до 7 кг необхідно вивести формули апроксимації для правильного обчислення тисків проміжних значень маси.

За допомогою середовища EXCEL отримано наступні формули апроксимації.

Для площі перерізу 20 мм²:

$$y = 0,0004x^5 - 0,0203x^4 + 0,366x^3 - 2,5736x^2 + 3,5513x + 23,876 \quad (4.2)$$

Для площі перерізу 15 мм²:

$$y = 0,0002x^5 - 0,0087x^4 + 0,1482x^3 - 0,846x^2 - 1,4652x + 24,272 \quad (4.3)$$

Для площі перерізу 10 мм²:

$$y = 0,0001x^5 - 0,0059x^4 + 0,0945x^3 - 0,4212x^2 - 2,5633x + 23,196 \quad (4.4)$$

Для площі перерізу 5 мм²:

$$y = 0,00005x^5 - 0,0023x^4 + 0,025x^3 + 0,1637x^2 - 4,494x + 24,408 \quad (4.5)$$

Для площі перерізу 2 мм²:

$$y = 0,00005x^5 - 0,0021x^4 + 0,0216x^3 + 0,19x^2 - 4,5628x + 24,353 \quad (4.6)$$

Найважчим питанням є використання формули апроксимацій саме для відповідної площі перерізу. Для зменшення кількості обрахунків пропонується обирати формулу для проміжків від попереднього цілого значення до цілого значення для якого визначено площу перерізу, наприклад, для всіх значень від 4 до 5 кг площа перерізу буде становити 5 мм² (за таблицею 3.3). Тому надамо таблицю з визначеними формулами апроксимації відповідно до проміжків мас.

		Мазарев Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунув О.В.				69
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 Відповідність формули апроксимації до проміжків маси

Проміжок m, кг	Формула
0 - 1	$y = 0,0004x^5 - 0,0203x^4 + 0,366x^3 - 2,5736x^2 + 3,5513x + 23,876$
1 - 2	$y = 0,0001x^5 - 0,0059x^4 + 0,0945x^3 - 0,4212x^2 - 2,5633x + 23,196$
2 - 3	$y = 0,00005x^5 - 0,0021x^4 + 0,0216x^3 + 0,19x^2 - 4,5628x + 24,353$
3 - 4	$y = 0,00005x^5 - 0,0021x^4 + 0,0216x^3 + 0,19x^2 - 4,5628x + 24,353$
4 - 6	$y = 0,00005x^5 - 0,0023x^4 + 0,025x^3 + 0,1637x^2 - 4,494x + 24,408$
6 - 7	$y = 0,0002x^5 - 0,0087x^4 + 0,1482x^3 - 0,846x^2 - 1,4652x + 24,272$
7 - max	$y = 0,0004x^5 - 0,0203x^4 + 0,366x^3 - 2,5736x^2 + 3,5513x + 23,876$

4.3.Алгоритм роботи керування адаптивним приводом

У останній колонці таблиці 3.3 занесено значення площ перерізів поршневої камери розподільника при різному відкритті золотника, а розраховані значення маси будуть індикаторами для програми, тобто, де має знаходитись золотник пропорційного розподільника при різних значеннях датчику тиску. Наведу приклад роботи системи: в програмі системи вже записані значення відкриття золотника розподільника для кожної із допустимих мас, тому якщо, наприклад, підіймається маса в 7 кг золотник пропорційного розподільника буде повністю відкритий, а якщо 3 кг золотник повернеться назад, і площа перерізу камери зменшиться вдвічі, що спричинить

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				70
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

зменшення витрати нагнітальної лінії та призведе до зменшення значення прискорення і вантаж не відірветься.

Таким чином реалізовано алгоритм керування відповідно до зміни тиску в поршневій камері пневматичного циліндру від маси вантажу, а також технічних особливостей роботи маніпулятора.

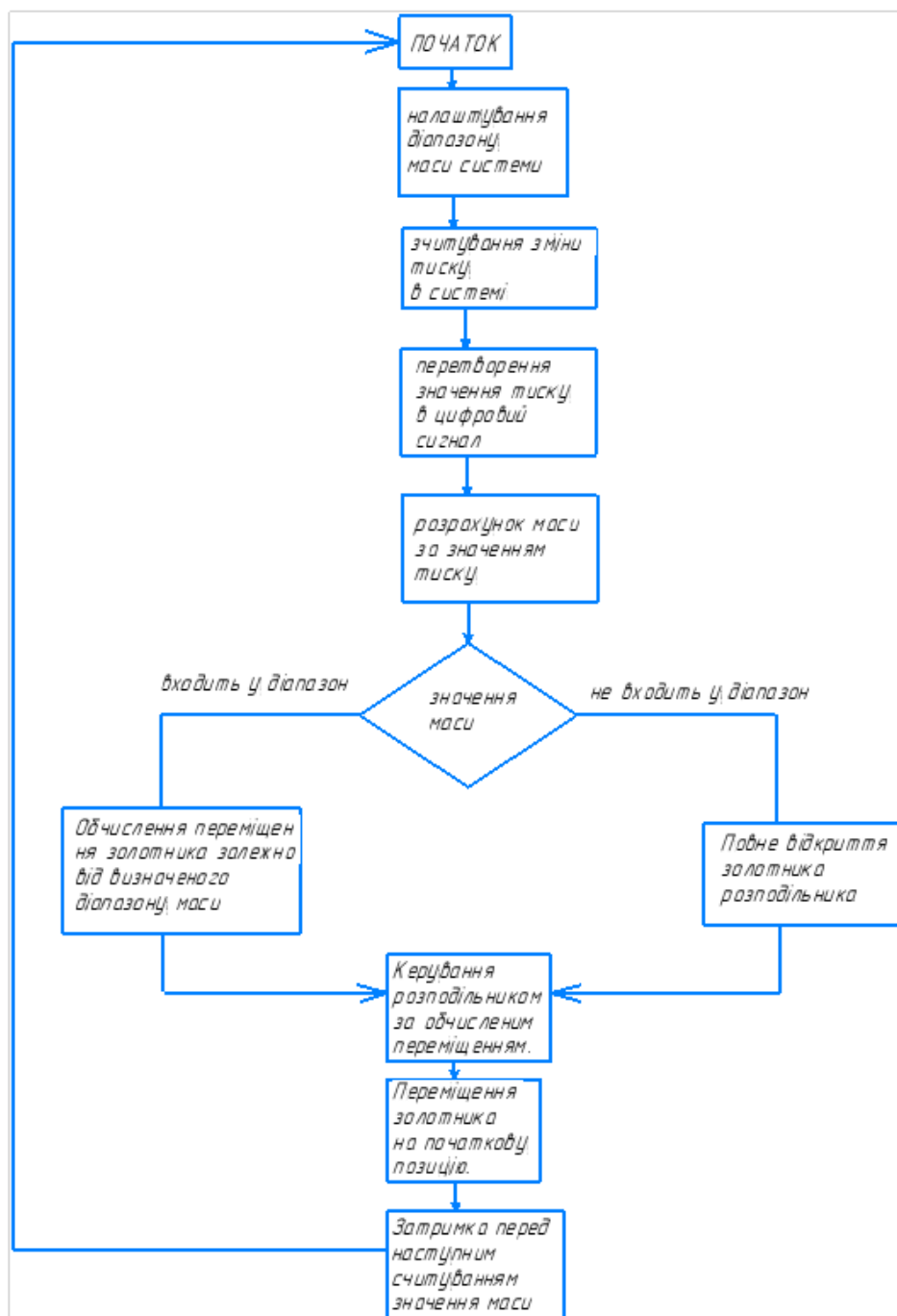


Рисунок 4.2. Алгоритм керування маніпулятора

Наступним етапом проаналізуємо алгоритм роботи автоматичної системи розрахованого маніпулятора. Спочатку йде налаштування «нестабільного» діапазону маси, при якому необхідні відповідні дії системи, а саме зменшення камери розподільника за рахунок руху його золотника. Після виставлення діапазону та зачеплення маси на вакуумному захоплювальному пристрої, виникає тиск у поршневій камері за рахунок навантаження, який зчитується датчиком тиску. Він перетворює значення тиску на цифровий сигнал, який надходить на системну плату, де наступним етапом у розробленій програмі розраховується маса за формулою 4.1. Далі програма перевіряє, чи входить маса у попередньо налаштований діапазон. Наступні дії системи розгалужуються на 2 напрямки:

- 1) Якщо обчислена маса не входить у діапазон, то програма дає сигнал на повне відкриття золотника розподільника.
- 2) Якщо обчислена маса входить у діапазон, то програма дає сигнал на відповідне неповне відкриття золотника залежно від маси.

Далі золотник переміщується на відповідну відстань. Після закінчення переносу й опускання ланки маніпулятора з вантажем, система повертається у початковий стан, а саме золотник повертається у початкову позицію. Далі у системі реалізовано затримку часом перед наступним зчитуванням значення маси, щоб встигнути передати системі наступний вантаж.

Висновки до розділу 4

У цьому розділі на базі дослідження, яке виявило проблемну ділянку, запропоноване технічне вирішення проблеми відриву вантажу при великому прискоренні робочого органу. За рахунок впровадження контролю тиску поршневої камери пневматичного циліндру та пропорційного роздільника . було повністю вирішено проблему відриву вантажу. Система автоматично має розрахувати масу за значенням тиску у поршневій камері, визначати у якому діапазоні мас знаходиться маса, а потім відкривати на необхідну відстань

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				72
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

золотник пропорційного розподільника залежно від визначеного системою діапазону маси. Апроксимація графіків залежності прискорення від тиску зробила більш точним розрахунок значень прискорення для проміжних значень маси вантажу, що дає змогу забезпечувати роботу маніпулятора з гарантуванням надійного утримання вантажу у всьому діапазоні мас, які переміщуються. Також були виведені рівняння апроксимації для визначених діапазонів маси та запропоновано метод використання цих рівнянь у автоматизованій програмі. У підсумку технічне рішення та апроксимація дали змогу реалізовано алгоритм керування системою у вигляді блок-схеми та її детальний опис, який забезпечує точне і безпомилкове виконання операції маніпулятором переміщення вантажу без його відриву.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				73
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНОГО ПРИВОДУ МАНІПУЛЯТОРА

У цьому розділі буде детально розібрано і запропоновано конструктивні рішення задля технічної реалізації маніпулятора з автоматичною адаптацією прискорення до зміни маси вантажу, а також буде проведено підбір обладнання.

Перед підбором обладнання необхідно визначити кількість необхідних елементів для роботоздатності системи та проаналізувати принципові схеми.

Отже, пропонуються уточнена принципова схема приводу руху системи.

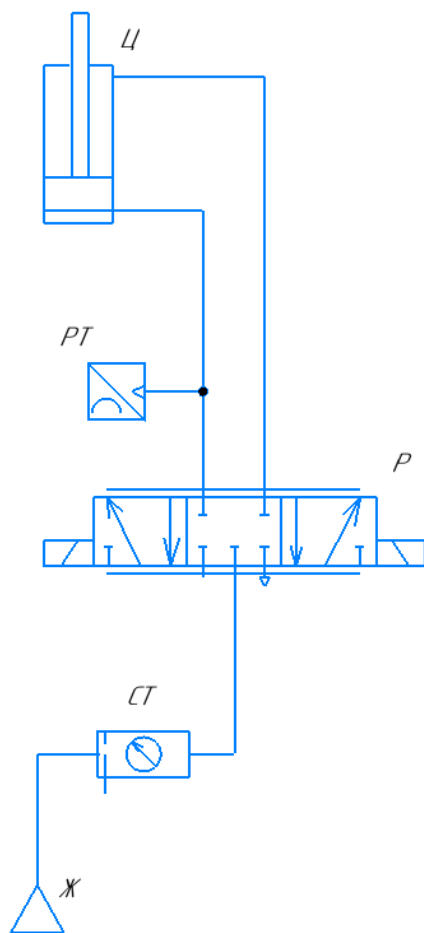


Рисунок 5.1. Принципова схема приводу руху маніпулятора

Схема складається з таких елементів, як компресор – Ж, станція очищення повітря – СТ, пропорційного розподільника 5/3 – Р, датчика тиску – РТ, пневматичного циліндру – Ц.

Наступним етапом є розробка принципової схеми утримання вантажу.

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				74
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

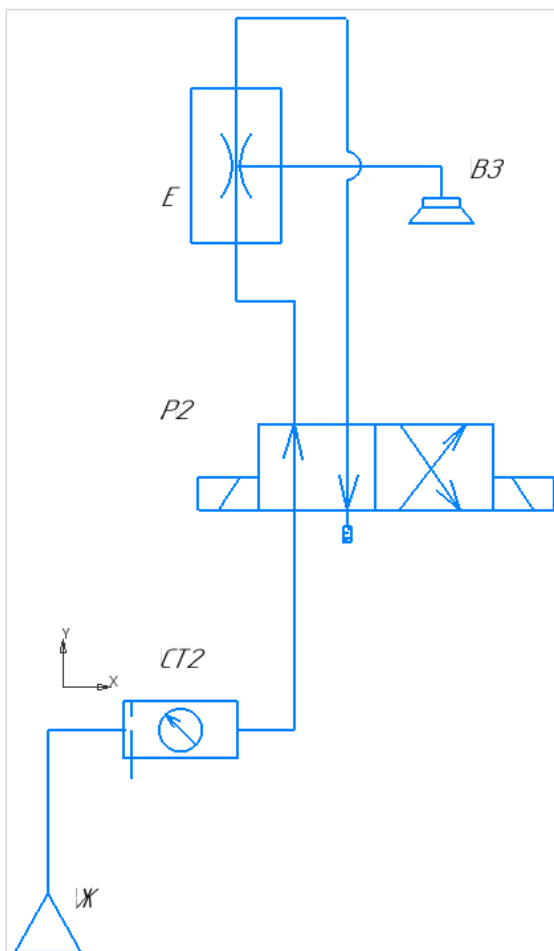


Рисунок 5.2. Принципова схема приводу утримання вантажу

Схема складається з таких елементів, як компресор – Ж, станція очищення повітря – СТ2, розподільника 4/2 – P2, ежектору – P2, вакуумного утримувача – В3.

5.1. Підбір обладнання приводу системи руху маніпулятора

Спочатку необхідно підібрати пневматичний циліндр з параметрами які використовувалися при математичному моделюванні у розділі 2. Пневматичний циліндр має наступні вихідні характеристики:

Таблиця 5.1. Вихідні параметри пневматичного циліндру

Параметр	Значення
----------	----------

Діаметр перерізу (за діаметром перерізу поршневої камери)	0,032 м
Робочий тиск	6 Бар
Робочий хід поршня	0,286 м
Тип дії	Двосторонньої дії

За вихідними характеристиками мною було обрано пневматичний циліндр FESTO DSNU-32-320-PPV-A



Рисунок 5.3. Пневматичний циліндр FESTO[6]

Робочий хід поршня у обраному пневматичному циліндрі 320 мм, що є більшим за необхідний хід. Вирішення цієї проблеми є обмеження руху за рахунок встановлення датчику контролю положення та своєчасне вимикання подачі повітря у поршкову камеру. Останній індекс «А» в моделі є наявністю у цієї моделі магнітного кільця для контролю положення, яке має бути налаштоване на 0,286 м. Індекс «PPV» розшифровується як пневматична амортизація на кінцевих положеннях пневматичного циліндру. Діаметр циліндру складає 32 мм. Робочий тиск пневматичного циліндру – до 10 Бар.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				76
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Наступним етапом є підбір пневматичного розподільника, який є пропорційним у розрахунковій системі.



Рисунок 5.4. Пропорційний розподільник Festo[5]

Було обрано електромагнітний пропорційний розподільник Festo MPYE-5-1/8-HF-010-B з наступними характеристиками:

- Робочий тиск від 1 – 10 Бар
- Моностабільний
- Напруга керування 24 В DC
- Пропускна здатність 700 л/хв
- З'єднувальні розміри G 1/8(9,8 мм)

Тепер потрібно підібрати датчик тиску, який буде встановлено на напірній лінії системи перед пневматичним циліндром.



Рисунок 5.5 Датчику тиску SMC Pneumatics [3]

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				77
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Було обрано датчик тиску SMC ISE30A-01-65 з наступними характеристиками:

- Діапазон тиску: -1...10 Бар
- Цифровий вихід: 0-10 В або 4-20 мА.
- Підключення: G1/8
- Живлення: 24 В DC.
- Інтерфейс: Підключення через M12-роз'єм (легка інтеграція з програмними системами).

5.2. Підбір обладнання системи вакуумного утримання вантажу

Спочатку необхідно підібрати пневматичний розподільник. Розподільник не має бути пропорційним адже його функція подати повітря при захопленні вантажу та виключити подачу повітря, коли вантаж знято з утримувача. Тому достатньо підібрати 4/2 пневматичний розподільник з електромагнітним керуванням.

Було обрано SMC SY3120-5LZD-C6

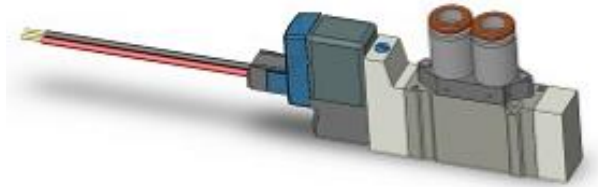


Рисунок 5.6. Розподільник 4/2 SMC [7]

Розподільник має наступні характеристики:

- Тип: 4/2 розподільник з електромагнітним керуванням.
- Порти: Ø6 мм для швидкого підключення трубок.
- Робочий тиск: 1-7 бар.
- Напруга керування: 24 В DC.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				78
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Тепер необхідно підібрати ежектор для створення вакууму.

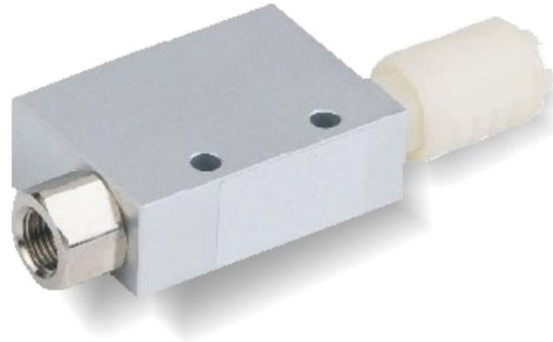


Рисунок 5.7 Ежектор системи [10]

Було обрано ежектор CV-10LS з характеристиками вказаними на рисунку 3.5.

Останнім підберу вакуумний захоплюючий пристрій з площею утримання в 0,0113 м² та силою утримання в 42,4 Н.

Обрано вакуумний захоплювач Fixtool VACM-60 з максимальною масою утримання 60 кг та силою утримання в 43 Н.

Отже занесу все підібране обладнання у таблицю.

Таблиця 5.2. Підбір обладнання системи

Позначення на схемах	Назва	Модель	Функ ція у системі
Ц	Пневматичний циліндр	FESTO DSNU-32- 320-PPV-A	Підня ття ланки з вантажем вверх та вниз
Р	Пропорційний 5/3 розподільник	Festo MPYE-5-1/8- HF-010-B	Керув ання подачею

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				79
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

			повітря приводу
PT	Датчик тиску з цифровими виходами	SMC ISE30A-01- 65	Контр оль тиску на напірній лінії
P2	4/2 розподільник	SMC SY3120- 5LZD-C6	Керув ання подачею повітря захоплен ня вантажу
E	Ежектор	CV-10LS	Створ ення вакууму
B3	Вакуумний захоплювач	Fixtool VACM-60	Утри мання вантажу

5.3. Компонування

Для забезпечення компактності, безпеки для людини та інших необхідних вимог - розроблено корпус-щиток як стандартний елемент.

Реалізація полягає в тому, щоб захистити плату керування, датчик тиску, розподільник та контролер від вологи, бруду, пилу та випадкового механічного втручання в систему керування.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				80
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Щиток пропонується приварити до нерухомої частини маніпулятора (рис. 5.9). Також зверху та знизу щитка необхідно зробити симетричні отвори для нагнітальної та вихлопної ліній.

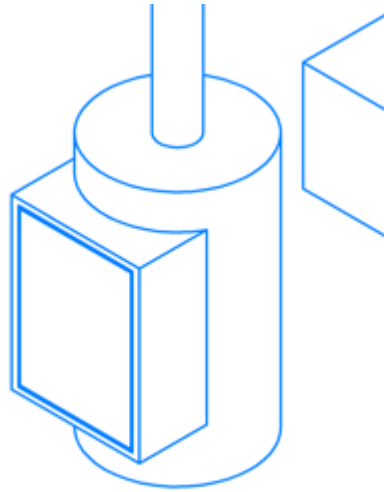


Рисунок 5.9. Реалізація монтування корпусу-щитка на нерухомій частині манулятора

Таким чином один раз налаштувавши систему можна просто закрити щиток, та не відкривати до ремонту або наступного налаштування, що значно підвищить строк служби системи.

Висновки до розділу 5

Розроблення принципових схем для приводів руху та утримання вантажу маніпулятора чітко визначили кількість та моделі необхідних елементів системи, а саме дотриманням потрібних технічних характеристик системи таких , як тиск, витрата, робоча довжина ходу ті інші. На підґрунті геометричних параметрів вибраного обладнання розроблено компонування елементів автоматизованої системи з урахуванням міркувань безпеки та довговічності експлуатації маніпулятора.

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				81
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6. СТАРТАП ПРОЕКТ АВТОМАТИЗОВАНОГО МАНІПУЛЯТОРУ

Метою розділу є оцінка можливостей ринкового впровадження автоматизації маніпулятора шляхом маркетингового аналізу. Важливо визначити напрямки реалізації запропонованого мною технічного рішення.

6.1. Опис ідеї проекту

У таблиці 6.1. розглянуто можливі напрямки застосування, зміст ідеї та основні вигоди для користувача.

Таблиця 6.1. Визначення ідеї та напрямків застосування

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Автоматизоване керування прискоренням маніпуляторам з вакуумно захоплюючими пристроями	1. Логістика та складування	Підвищення безпеки під час транспортування вантажів, зменшення ризику падіння вантажу
	2. Виробничі підприємства	Оптимізація швидкості виробничих процесів, зниження витрат на ремонт та обслуговування
	3. Будівельні роботи	Підвищення точності монтажних робіт, економія часу на переміщення конструкцій/елементів

Наступним етапом необхідно зробити аналіз потенційних техніко-економічних переваг у порівнянні з існуючими аналогами технічного рішення, щоб прийняти рішення о конкурентоспроможності.

Таблиця 6.2. Аналіз потенційних технічних переваг

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				82
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Вакуумні захоплюючі пристрої (без автоматизації)	Гідравлічні підіймачі	Електричні лебідки			
Точність керування підйомом	Висока	Низька	Середня	Середня			S
Автоматизація процесів	Повна	Відсутня	Часткова	Відсутня			S
Енергоефективність	Висока	Середня	Низька	Середня		N	
Вартість обладнання	Середня	Низька	Висока	Середня	W		

6.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Мною проведено аудит технологій і рішень за допомогою яких можливе створення автоматизованої системи.

Таблиця 6.3. Аудит технологій і рішень

Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Автоматизоване керування прискоренням маніпуляторам з вакуумно захоплюючими пристроями	Розробка та проектування власної автоматизованої системи з нуля	Необхідно розробити	Доступні автору проекту
	Купівля вже готових неавтоматизованих рішень для	Наявні на ринку	Не доступні автору проекту

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				83
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

	подальшої автоматизації		
--	----------------------------	--	--

Саме реалізація з нуля вважаю найкращою, бо на практиці купівля готових рішень під автоматизацію ускладняється, бо не всі маніпулятори підходять під це, а також впливає фактор залежності від іншого виробництва, що у разі їх банкрутства робить неможливим роботу мого стартап проекту.

6.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У цьому розділі визначу ринкові можливості, які можна корисно використати під час впровадження проекту. Також важливо визначити заздалегідь ринкові загрози, що можуть перешкодити реалізації та спланувати напрями розвитку.

Таблиця 6.4. Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	5
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	40 млн. грн
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідність відповідності стандартам безпеки ISO, ДСТУ та іншим галузевим вимогам
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Від 10-20 (залежно від рівня автоматизації)

З таблиці 6.4. можу зробити висновок, що ідея стартап проекту є привабливою для входження на ринок.

Надалі визначу потенційні групи клієнтів та їх характеристики, а також для кожної групи сформулю орієнтовний перелік вимог до товару.

Таблиця 6.5. Характеристика потенційних клієнтів

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				84
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
Підвищення ефективності вантажно-розвантажувальних робіт	Логістичні компанії, великі склади	Орієнтованість на оптимізацію часу та витрат, потреба в інтеграції з існуючими системами	Підтримка технічного обслуговування, гарантія якості
Автоматизація виробничих процесів	Виробничі підприємства (автомобільна, машинобудівна галузь)	Високі вимоги до точності та надійності, автоматизація виробництва	Висока точність, стійкість до зношення, простота інтеграції
Зменшення ручної праці та підвищення безпеки	Транспортно-логістичні оператори	Потреба у зменшенні травматизму, автоматизація ручних процесів	Безпека використання, автоматизовані системи управління

Наступним етапом є аналіз ринкового середовища, а саме складання таблиці факторів, як тих, що сприяють ринковому впровадженню, так і тих, що перешкоджають.

Таблиця 6.6. Фактори загроз

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Висока конкуренція	Наявність вже усталених рішень на ринку з потужними гравцями	Розробка унікальних функцій, що відрізняють продукт від аналогів; активний маркетинг
2	Високі витрати на впровадження	Необхідність значних інвестицій на впровадження та адаптацію на підприємствах	Залучення інвесторів, стратегічне партнерство, поступове масштабування

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				85
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

3	Регуляторні обмеження	Строгі вимоги до сертифікації та стандартизації обладнання	Випереджувальна робота з сертифікаційними органами, розробка відповідно до стандартів
---	-----------------------	--	---

Надамо таблицю фактору можливостей.

Таблиця 6.7. Фактори можливостей

№ n/n	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання попиту на автоматизацію	Підвищений інтерес до автоматизації процесів у логістиці та виробництві	Акцент на швидке впровадження, демонстрація ефективності обладнання
2	Розвиток технологій Індустрії 4.0	Популярність рішень для «розумних» фабрик та інтеграції IoT	Інтеграція з іншими IoT-рішеннями, розробка розширених функцій
3	Державна підтримка інноваційних проектів	Державні гранти та програми підтримки для стартапів	Залучення державного фінансування, участь у грантових програмах

Наступним етапом проведемо аналіз пропозиції, а саме визначу загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 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. Тип конкуренції: монополістична	Наявність кількох великих гравців, що пропонують аналогічні технології	Фокус на розробці унікальних функцій продукту, які не мають аналогів у конкурентів

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				86
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

2. За рівнем конкурентної боротьби: національний	Конкуренція відбувається переважно на рівні національних компаній	Розширення географії продажів, вихід на міжнародні ринки
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Конкуренція між компаніями, що працюють у сфері автоматизації та логістики	Акцент на інноваційність та надійність обладнання, стратегічні партнерства
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Пропозиції схожих рішень для підйому та переміщення вантажів	Диверсифікація продуктового асортименту, додаткові сервіси (сервісне обслуговування)
5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Конкуренти змагаються за рахунок якості, інновацій та сервісу	Інвестиції в R&D, впровадження нових технологій, підвищення рівня обслуговування
6. За інтенсивністю: марочна	Висока пізнаваність брендів конкурентів на ринку	Формування власного бренду, активні маркетингові кампанії, побудова лояльності клієнтів

Надалі проведемо детальніший аналіз умов конкуренції в автоматизації та логістиці.

Таблиця 6.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	Компанії, що пропонують аналогічні вакуумні підйомні системи	Низькі бар'єри входу на ринок завдяки доступності технологій. Можливість появи нових гравців протягом 1-2 років	Висока залежність від постачальників електроніки та сенсорних технологій. Можливі затримки	Високі вимоги до якості та надійності з боку клієнтів. Клієнти можуть вимагати індивідуальні рішення	Традиційні вантажні підйомники (гідравлічні та механічні системи) можуть виступати

			поставок або підвищення цін	лізації рішень	як замінники
Висно вки:	Інтенсивніс ть конкурентн ої боротьби висока, особливо серед технологічн их компаній, що спеціалізую ться на автоматизац ії логістики	Існують можливості для входу в ринок для нових компаній, але час виходу обмежений через необхідність R&D	Постачальн ики можуть диктувати умови через обмежену кількість надійних постачальн иків технологій	Клієнти мають сильний вплив на ринок через вимоги до якості та гнучкості продукту	Загрози з боку товарів- замінників середні, оскільки традиційні рішення поступають за ефективніс тю

Аналіз конкурентного середовища показує, що для успішного входу на ринок необхідно запропонувати інноваційне рішення з чіткими перевагами, такими як ефективність і надійність. Ключовими сильними сторонами проекту мають бути висока якість, адаптивність під потреби клієнтів та конкурентоспроможна ціна.

Наступним етапом аналізуючи попередню таблицю визначу та обґрунтую перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 6.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Інноваційність технології	Ваш проект використовує автоматизоване керування прискоренням, що забезпечує вищу ефективність та швидкість підйому вантажів порівняно з конкурентами.
2	Якість та надійність	Використання високоякісних матеріалів та надійних компонентів, що знижує

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				88
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

		ризика поломок і простоїв, підвищуючи довіру споживачів.
3	Адаптивність під потреби клієнтів	Можливість індивідуалізації системи під специфічні запити клієнтів, що дає перевагу у сегментах з нестандартними вимогами.
4	Вартість володіння	Нижчі експлуатаційні витрати завдяки енергоефективності рішення, що робить продукт економічно вигідним для клієнтів.
5	Швидкість впровадження	Легкість інтеграції системи в існуючі процеси замовника, що знижує час на навчання персоналу та запуск обладнання.

Реалізувавши всі приведені мною фактори, стартап вважаю конкурентоспроможним.

Надалі за факторами конкурентоспроможності проведу аналіз сильних та слабких сторін.

Таблиця 6.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з XYZ Robotics						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Інноваційність технології	18		x					
Якість та надійність	16				x			
Адаптивність під потреби клієнтів	14					x		
Вартість володіння	12							x
Швидкість впровадження	15						x	

Фінальним етапом є розробка SWOT-аналізу, що є матрицею аналізу сильних та слабких сторін, загроз і можливостей.

Таблиця 6.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				89
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Сильні сторони: 1. Інноваційність технології, що забезпечує високу точність та ефективність підйому вантажів. 2. Висока якість та надійність компонентів, що зменшує витрати на обслуговування. 3. Адаптивність системи під індивідуальні потреби клієнтів. 4. Швидкість впровадження та легка інтеграція з існуючими системами клієнтів.	Слабкі сторони: 1. Висока собівартість виробництва, що може збільшити кінцеву ціну продукту. 2. Залежність від постачальників електронних компонентів та сенсорів. 3. Відносно довгий період окупності через високі початкові інвестиції. 4. Недостатня пізнаваність бренду на ринку у порівнянні з відомими конкурентами.
Можливості: 1. Зростання попиту на автоматизацію логістичних процесів у зв'язку з розвитком електронної комерції. 2. Розширення на міжнародні ринки та партнерство з великими логістичними операторами. 3. Державна підтримка інноваційних проектів, можливість отримання грантів та субсидій. 4. Використання новітніх технологій Індустрії 4.0 (ІоТ, штучний інтелект) для розширення функціональності продукту.	Загрози: 1. Поява нових конкурентів із дешевшими аналогами та швидкий вихід нових технологій на ринок. 2. Зростання цін на електронні компоненти через глобальний дефіцит мікро чіпів. 3. Посилення регуляторних вимог до безпеки обладнання, що потребуватиме додаткової сертифікації. 4. Зниження купівельної спроможності клієнтів, що може призвести до затримок у прийнятті рішень про покупку.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				90
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

На основі SWOT-аналізу розроблю альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок, а також розпланую орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації.

Таблиця 6.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Швидкий вихід на ринок через стратегічне партнерство з логістичними операторами: укладення угод з великими компаніями для спільного використання інфраструктури, що дозволить знизити витрати на маркетинг та дистрибуцію.	Висока (потребує мінімальних інвестицій, можливе залучення партнерів)	3-6 місяців
2	Залучення державних грантів та субсидій для розвитку інновацій: подача заявки на фінансування в рамках програм підтримки стартапів та інноваційних проектів, що дозволить зменшити витрати на R&D.	Середня (залежить від доступності грантових програм)	6-9 місяців
3	Розробка MVP (мінімально життєздатного продукту) та тестовий запуск на локальному ринку: фокус на адаптації	Висока (мінімальні початкові інвестиції, можливе залучення ангельських інвесторів)	4-6 місяців

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				91
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

	продукту до потреб клієнтів через пілотні проекти на місцевих ринках, збір відгуків для вдосконалення.		
--	--	--	--

У результаті аналізу таблиці 6.13. мною було обрано швидкий вихід на ринок через стратегічне партнерство з логістичними операторами, бо отримання ресурсів у цій альтернативі є більш простим та ймовірним, а також строки реалізації більш стислими.

6.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Першим кроком розробки ринкової стратегії є опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 6.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ п/ п</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнт овний попит в межах цільово ї групи (сегмен ту)</i>	<i>Іnten сивніс ть конку ренції в сегме нті</i>	<i>Просто та входу у сегмент</i>
1	Логістичні компанії та великі склади (займаються вантажно-розвантажувальними роботами, складуванням)	Висока (зацікавленість в автоматизації для підвищення ефективності)	Високий (постійний попит на автоматизацію складських процесів)	Середня (наявність кількох великих гравців)	Середня (необхідна адаптація під специфічні процеси)
2	Виробничі підприємства (автомобільні)	Висока (готові інвестувати в	Середній (потреба у спеціалізованих	Висока (сильна конкуренція серед	Низька (потрібна сертифікація та

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				92
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

	а та машинобуді вна промисловіс ть)	підвищення точності та швидкості виробництва)	рішеннях для конвеєрів)	постачаль ників обладнанн я)	відповідність галузевим стандартам)
3	Будівельні компанії (потребують підйомного обладнання для монтажних робіт)	Середня (готові інвестувати за умови доведеної надійності)	Середній (сезонний попит залежно від обсягу будівництва)	Низька (менше спеціалізо ваних рішень у цій ніші)	Висока (швидке впровадженн я при наявності демонстрації переваг)
Які цільові групи обрано: Логістичні компанії та великі склади					

Я обрав одну групу потенційних споживачів, тому мені підходить стратегія концентрованого маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті сформулю базову стратегію розвитку.

Таблиця 6.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/ п	Обрана альтернати ва розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Швидкий вихід на ринок через стратегічне партнерство з логістичним и операторами	Стратегія концентровано го маркетингу	1. Прискорене впровадження через партнерську мережу 2. Зниження витрат на маркетинг за рахунок доступу до баз клієнтів партнерів 3. Підвищення лояльності клієнтів завдяки співпраці з відомими операторами	Стратегія прискореного росту: створення партнерських угод для забезпечення швидкого доступу до ринку та масштабування бізнесу

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 6.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				93
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопроходьцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	Ні, на ринку вже присутні схожі рішення	Компанія буде забирати споживачів у конкурентів шляхом пропозиції інноваційних функцій та кращої якості	Ні, компанія не буде копіювати, але використає переваги у функціональності та адаптивності системи	Стратегія диференціації: фокус на унікальних характеристиках продукту, таких як точність, автоматизація та адаптивність до потреб клієнтів

Останнім кроком розроблю стратегію позиціонування(комплексу асоціацій) для стратегії концентрованого маркетингу на основі вимог до продукту та сегменту.

Таблиця 6.17. Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/ n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1	Висока точність та надійність у підйомі вантажів	Швидкий вихід через партнерство з логістичними операторами	1. Інноваційність технології (автоматизоване керування) 2. Адаптивність до різних вантажів 3. Зниження витрат на обслуговування	Надійність, Інноваційність, Ефективність

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				94
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Спочатку сформуємо маркетингову концепцію товару для споживача.

Таблиця 6.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ n/n	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Підвищення ефективності вантажно- розвантажувальних робіт	Збільшення швидкості обробки вантажів, зменшення часу простою	Інноваційне автоматизоване керування: висока точність та швидкість
2	Зниження експлуатаційних витрат	Енергоефективність, мінімізація витрат на обслуговування	Енергоефективність: споживання енергії нижче на 20% у порівнянні з аналогами
3	Інтеграція з існуючими системами автоматизації	Легка інтеграція з ERP та WMS системами клієнтів	Адаптивність до різних умов роботи: можливість налаштування під потреби клієнта
4	Гнучкість у використанні для різних типів вантажів	Можливість роботи з різними типами вантажів без переналаштування	Універсальність системи: підтримка різних вагових та розмірних параметрів. Легкість у використанні : інтуїтивно зрозумілий інтерфейс управління

Наступним етапом є розробка трирівневої маркетингової моделі товару.

Таблиця 6.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за здумом	Базова потреба: Підвищення ефективності та безпеки вантажно-розвантажувальних робіт.

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				95
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

	Основна функціональна вигода: Автоматизація підйому вантажів із використанням вакуумної технології, що скорочує час обробки вантажів та знижує ризик травматизму.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Висока точність керування (±1 мм) 2. Енергоефективність (споживання енергії на 20% нижче за аналогічні системи) 3. Підтримка різних типів негабаритних вантажів (до 30 кг) 4. Інтеграція з ERP/WMS системами клієнтів 5. Автоматичні датчики безпеки для захисту від падіння вантажу	Мобільність, Надійність	Висока швидкість обробки (Вр), Технологічність (Тх), Тривалий ресурс роботи (Тл), Енергоефективність (Е), Організаційна підтримка (Ор)
	Якість: Відповідність стандартам ISO 9001, сертифікація CE, внутрішнє тестування на надійність до 100 000 циклів підйому		
	Пакування: Екологічна упаковка з захисними вставками, що запобігають пошкодженню під час транспортування		
	Марка: LogiTech Solutions , Товар: InnoLift Pro		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Консультації щодо вибору конфігурації, демо-презентації для потенційних клієнтів, можливість проведення пілотного тестування		
	Після продажу: Гарантійне обслуговування (2 роки), дистанційна технічна підтримка 24/7, навчання персоналу клієнта, можливість підключення до онлайн-системи моніторингу стану обладнання		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: 1. Патентування унікальних алгоритмів керування вакуумною системою 2. Використання спеціалізованих компонентів, недоступних для широкого ринку 3. Підтримка програмного забезпечення лише авторизованими сервісними центрами			

Наступним кроком є правильне визначення цінових меж для встановлення коректної ціни на товар.

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				96
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Таблиця 6.20. Визначення меж встановлення ціни

№ n/n	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Традиційні механічні та гідравлічні підйомники: 50 000 - 100 000 грн	Автоматизовані вакуумні системи від конкурентів (XYZ Robotics, Piab): 120 000 - 200 000 грн	Логістичні компанії та склади: середній річний дохід від 5 до 20 млн грн	Нижня межа: 100 000 грн
2	Портативні підйомні механізми: 40 000 - 80 000 грн	Комплексні автоматизовані рішення (інтеграція з ERP/WMS): 180 000 - 300 000 грн	Будівельні компанії: середній річний дохід від 3 до 15 млн грн	Нижня межа: 130 000 грн

Надалі необхідним є визначення оптимальної системи збуту.

Таблиця 6.21. Формування системи збуту

№ n/n	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Логістичні компанії та великі склади: орієнтовані на автоматизацію, шукають комплексні рішення, готові до довгострокових контрактів	Надання технічних консультацій, Демо-презентації на об'єктах замовника, Інтеграція з існуючими ERP-системами, Постачання та	Короткий канал (1 рівень): Прямий продаж	Власна система збуту: Прямий продаж через власний відділ продажів та інженерів-консультантів

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				97
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

		встановлення обладнання		
2	Виробничі підприємства: потребують специфічних рішень для підвищення ефективності виробництва, орієнтуються на перевірені бренди	Спеціалізоване налаштування обладнання. Гарантійне та післягарантійне обслуговування . Навчання персоналу клієнта	Середня глибина каналу (2 рівні): Продаж через регіональних дистриб'юторів	Залучена система збуту: Партнерство з дистриб'юторами , які мають досвід у промислових рішеннях

Останньою складовою маркетингової програми є розробка концепції маркетингових комунікацій.

Таблиця 6.22. Концепції комунікацій

№ п / п	Специфіка поведінки / цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Логістичні компанії та склади: орієнтовані на автоматизацію , шукають рішення для оптимізації витрат і підвищення ефективності	- Галузеві виставки та конференції - Професійні журнали (наприклад, "Logistics Today") - LinkedIn, email-розсилки	Надійність, Інноваційність, Ефективність	Продемонструвати можливості автоматизації та зниження витрат	"Покращуйте ефективність складу на 30% з InnoLift Pro: інноваційні вакуумні системи для швидкої автоматизації"
2	Виробничі підприємства: шукають надійні рішення для інтеграції у	-Спеціалізовані виставки ("Industrial Automation Expo")	Сумісність, Гнучкість, Швидкість	Підкреслити інтеграцію з виробничими	"Інтегруйте автоматизацію без перерви у виробництві — InnoLift

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				98
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

	виробничі лінії, орієнтовані на довгострокові інвестиції	- Професійні форуми та платформи (Industry 4.0) - Прямі продажі через B2B платформи (Alibaba, TradeIndia)	впровадження	процесам і та швидке налаштування	Pro для вашої промислової лінії"
3	Транс портно-логістичні оператори: шукають рішення для оптимізації завантажувальних процесів, орієнтуються на швидкий ROI	- Вебінари та онлайн-навчання - Публікації в логістичних виданнях (Logistics Insight Asia) - Реклама на спеціалізованих платформах (FreightWaves)	Енергоефективність, Адаптивність, Низькі витрати	Підкреслити швидкий ROI та економію енергії	"Скоротити витрати на 20% з автоматизацією від InnoLift Pro: інноваційні рішення для логістики"

Висновки до розділу 6

Узагальнюючи проведений аналіз, можна зробити висновок, що проект має високу можливість ринкової комерціалізації завдяки наявному попиту на автоматизовані рішення для логістики та складування, а також зростаючій динаміці ринку автоматизації. Ринок показує стабільний потенціал для зростання, з високою рентабельністю, особливо в сегментах, орієнтованих на підвищення ефективності та безпеки. Існують сприятливі перспективи впровадження проекту, враховуючи зацікавленість з боку логістичних компаній і виробничих підприємств, незважаючи на помірні бар'єри

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				99
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

входження. Стан конкуренції дозволяє диференціюватися за рахунок інноваційності та надійності рішення, що підвищує конкурентоспроможність проекту. Найбільш доцільною альтернативою впровадження є стратегія швидкого виходу на ринок через партнерство з логістичними операторами, що дозволить швидко завоювати частку ринку. Подальша імплементація проекту є доцільною, оскільки він має значний потенціал для розвитку та масштабування на міжнародні ринки. Рекомендується продовжити розробку та адаптацію продукту, орієнтуючись на цільові сегменти та використовуючи визначені канали збуту.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				100
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ

В Україні право на безпечні та нешкідливі умови праці є одним із конституційних прав кожного громадянина. Це право забезпечується через комплекс правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів. Нормативні акти з охорони праці, включаючи правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, мають статус обов'язкових до виконання правових норм. У наукових дослідженнях охорону праці розглядають як правову категорію в широкому та вузькому сенсах.

Темою магістерської дисертації є «Адаптивний електропневмопривід збалансованого маніпулятора». При виконанні дисертації я дослідив параметри та умови роботи маніпулятора. Робоча зона маніпулятора буде знаходитися у приміщенні.

7.1. Аналіз небезпечних факторів

Найчастіше небезпечними та шкідливими факторами є :

- 1) Електрична безпека
- 2) Пожежна безпека
- 3) Мікроклімат
- 4) Освітлення
- 5) Шум

Ігнорування цих чинників може призвести до таких серйозних наслідків як:

- 1) Смерть
- 2) Отримання травм тіла або інвалідність
- 3) Втрата кінцівок

Мною було проаналізовано приміщення де буде знаходитися маніпулятор та визначені усі необхідні параметри які відповідають нормам охорони праці.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				101
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Якщо якійсь з параметрів не відповідає нормам – буде надано рекомендації для безпеки при роботі з маніпулятором.

7.2. Електробезпека

Так як маніпулятор має електричний привід руху довкола вертикальної вісі та електричний серводвигун керування дроселем, елементи маніпулятора можуть бути під напругою. Оператор та обслуговуючий персонал повинні мати відповідну кваліфікацію, допуск до роботи з електроустановками і бути ознайомленими з інструкціями з електробезпеки.

Перед початком роботи перевіряються всі електричні з'єднання, кабелі та проводка маніпулятора на відсутність пошкоджень. У випадку виявлення дефектів використання обладнання заборонено до їх усунення. Також всі частини маніпулятора, що можуть опинитися під напругою, повинні мати надійну електроізоляцію, щоб виключити можливість контакту оператора з електричними струмопровідними елементами.

Устаткування має бути заземлене відповідно до норм електробезпеки. Заземлення необхідне для запобігання накопиченню статичного заряду і зниження ризику ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції.

Приміщення повинно бути устатковано пристроями захисту від короткого замикання і перенапруги. Це можуть бути автоматичні вимикачі або запобіжники, що спрацьовують при небезпечних змінах параметрів електромережі.

Важливо зазначити вимоги до експлуатації маніпулятора з точки зору саме електробезпеки. По-перше перед початком роботи з маніпулятором обслуговуючий персонал повинен візуально перевірити цілісність електрообладнання, проводів і електродвигунів. У разі виявлення будь-яких несправностей або підозри на ушкодження пристрій слід негайно відключити від мережі. По-друге заборонено доторкатися до електрообладнання мокрими

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				102
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

руками або працювати з маніпулятором у вологому середовищі без належного захисту. Усі роботи з обслуговування електричних частин слід проводити при повному відключенні обладнання від живлення. Також не менш важливим пунктом є заборона використання маніпулятора при частих перебоях в електропостачанні, оскільки це може призвести до поломки обладнання і підвищення ризику ураження електрострумом.

7.3. Пожежна безпека

При роботі з маніпулятором електрична проводка та електричне обладнання можуть спричинити пожежу. Найімовірнішими причинами можуть стати:

- 1) Струм, перевантаження, великі перехідні опори
- 2) Несправність електрообладнання

Заходи для запобігання пожежі передбачують обрати вогнетривкі матеріали, а також впровадити організаційні заходи.

Оскільки в приміщенні перебування людей не є постійним, потрібно встановити протипожежну сигналізацію з фотоелементом. Для цього обрано датчик СПД-3. Через невелику площу приміщення концентрація вуглекислого газу може швидко зрости, тому біля входу необхідно розмістити протигаз. Мій вибір зупинився на моделі ГП-7.

При пожежі, засобами гасіння є порошкові вогнегасники САМ – 9, в кількості – 2 шт. На верхній частині вогнегасника, мають бути чітко вказані наступні позначення:

- 1) Робочий тиск та пробний гідравлічний тиск
- 2) Дата виготовлення і рік наступного випробування
- 3) Маса балона
- 4) Номер балона
- 5) Товарний знак

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				103
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

- 6) Об'єм балона
- 7) Вид термообробки

Наступні документи, за якими мають бути дотримані правила пожежної безпеки:

- 1) НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні.
- 2) ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухо-пожежною та пожежною небезпекою.
- 3) ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва.

7.4. Мікроклімат

Нормальна температура тіла людини становить 36,6-37°C і залежить не лише від стану здоров'я, а й від температури навколишнього середовища. Важливо підтримувати оптимальну температуру в приміщенні для забезпечення комфортних умов праці. На температуру в приміщенні впливає багато чинників, зокрема освітлення, робота електродвигунів чи двигунів внутрішнього згоряння, властивості матеріалів, з яких побудовано приміщення, та інші фактори.

За ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» повинні бути «встановлені норми мікроклімату приміщення» [14]. Категорія робіт за нормами обрана Легка 1а, на непостійних робочих місцях.

Таблиця 7.1 Мікроклімат приміщення

Період року	Категорія робіт		Допустимі		Фактичні	Оптимальні
			Діапазон нижче оптималь	Діапазон вище оптималь		

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				104
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

			них величин	них величин		
Холодний	Ia	Температура повітря, °C	18-26	24,1-5,0	19-22	22-24
		Температура поверхонь, °C	19-26		21-22	21-25
		Відносна вологість, %	75		52	40-60
		Швидкість руху повітря, м/с	Не більше 0,1		0,86	0,86
Теплий	Ia	Температура повітря, °C	20-30	25,1 - 28,0	22-24	23-25
		Температура поверхонь, °C	26,1 - 28,0		23-25	22-26
		Відносна вологість, %	15 - 75		48	40-60
		Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,2	0,1	0,1

Протягом року в приміщенні підтримується температура повітря 19-24°C, що є нормою для комфортної роботи. Необхідно двічі на день (до та після роботи) проводити вологе прибирання приміщення.

7.5. Освітлення

Працюючи з маніпулятором необхідно забезпечити гарне освітлення приміщення. У виробничому приміщенні використовується як штучне так і природне освітлення.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунов О.В.				105
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Оскільки освітлення виробничих та допоміжних приміщень має відповідати чинним санітарним вимогам до природного та штучного освітлення, а також нормам проєктування, виконаємо розрахунок штучного освітлення.

Для визначення кількості світильників обчислимо світловий потік, що падає на поверхню, за формулою :

$$F = \frac{E * K * S * Z}{n} \quad (7.1)$$

де F – світловий потік, Лм ; S – площа освітлюваного приміщення (у моєму випадку $S = 70 \text{ м}^2$; K – коефіцієнт запасу , який враховує зменшення світлового потоку лампи через поступове забруднення світильників, значення якого визначається за таблицею коефіцієнтів для різних приміщень : в моєму випадку $K = 1.5$; n – коефіцієнт використання (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до загального потоку всіх ламп і обчислюється в частках одиниці); Z – відношення середньої освітленості до номінальної (зазвичай дорівнює 4.1 - 4.2); E – нормована мінімальна освітленість, Лк (визначається за таблицею).

У моєму випадку обираю роботу малої точності, тому $E = 150 \text{ Лм}$.

Наступним етапом є розрахунок індексу переміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h(A+B)} \quad (7.2)$$

де S – площа приміщення, $S=70 \text{ м}^2$; h – розрахункова висота підвісу, $h=3.2 \text{ м}$; A – ширина приміщення, $A=7 \text{ м}$; B – довжина приміщення, $B=10 \text{ м}$.

Підставивши значення отримаємо $I = 1.28$. Знайшовши індекс переміщення за таблицею знаходимо $n=0.37$.

Підставляю в початку формулу для знаходження світлового потоку:

$$F = \frac{150 * 1,5 * 70 * 1,1}{0,37} = 46824 \text{ Лм}$$

		Мазеєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				106
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Обираю люмінесцентні лампи типу Osram LUMILUX HO 80W 152V 6650lm 6500K G5 DIM, світловий потік яких $F = 6650$ Лк. Розрахую необхідну кількість ламп за формулою:

$$n = \frac{F}{F_{\text{л}}} \quad (7.3)$$

де F – світловий потік, $F_{\text{л}}$ – світловий потік лампи.

Отже розрахую необхідну кількість ламп:

$$n = \frac{46824}{6650} = 7,04$$

У такому випадку у приміщенні має бути встановлено 8 таких ламп.

7.6. Шум

Так як у приміщенні присутнє обладнання, яке є джерелом шуму, а саме пневматичні циліндри, електромотори, компресори та інші, наведу наступні джерела шуму та наслідки їх роботи:

Таблиця 7.2.Джерела шуму і їх наслідки

Джерело	Наслідки	
	Для людини	Для обладнання
Кондиціонери	Роздратованість Зниження концентрації Втомлюваність	Відсутні
Робота обладнання		
Витяжки та вентиляція		

Значення рівнів звуку та шуму відповідно до ДСН.3.3.6.037-99 подано в таблиці

Таблиця 7.3 Значення рівня шуму

Тип	Фактичні значення	Нормативні значення
Рівень шуму, дБ	< 76	82

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗІМП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				107
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

Значення максимального рівня шуму в приміщенні не перевищують допустимих. Важливо зазначити, що існує ряд захисних актів, що захистять від негативних впливів шуму.

Таблиця 7.4. Захисні дії від шуму

Вид захисту		Засоби подолання безпеки
Технічні заходи	В приміщенні	Звукопоглинальні покриття на стінах
	В обладнанні	Звукоізоляція вібропоглинаючим поліетиленом
Організаційні заходи		Дотримання правил експлуатації обладнання. Режимів праці та сну
ЗІЗ		Навушники

Висновки до розділу 7

У цьому розділі було перевірено та визначено вимоги до охорони праці при експлуатації маніпулятора. Визначені небезпечні фактори при роботі з маніпулятором та їх наслідки показали необхідність рекомендованих заходів для запобігання нещасних випадків при роботі з електроприборами. Визначене необхідне значення освітлення та достатня кількість ламп сприяла безпечній роботі з маніпулятором. Розібрані фактори шуму та їх наслідки на здоров'я були взяті до уваги, проте фактичні значення шуму виявились менші за нормативні, що є відповідним до вимог.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				108
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Проведений мною інформаційний пошук та аналіз існуючих технічних рішень автоматизації в пневматичних системах керування маніпуляторів показав, що існуючі рішення не враховують можливість відриву вантажу при його переміщенні в широкому діапазоні змін мас вантажу. Відрив вантажу може зруйнувати вантаж, а також стати причиною травм людини, що не є правильним режимом роботи маніпулятора.

Проведене дослідження залежності прискорення руху робочого органу від маси при різних значеннях відкриття золотника розподільника на власній розробленій математичній моделі виявило проблемну ділянку від 2 до 7 кг, де сила, яка діє на вантаж під час руху маніпулятора більша за силу утримання, що спричинить відрив вантажу.

Запропоноване вирішення цієї проблеми удосконалило систему керування і забезпечило її адаптацію до маси вантажу, який переміщується. Для цього в системі було використано додатковий датчик тиску, який встановлено у поршневій камері пневматичного циліндру для визначення маси вантажу. Керування пневмоциліндром реалізовано через пропорційний розподільник, який дозволив забезпечити потрібні характеристики руху робочого органу.

Розроблена система керування з адаптацією до вантажу повністю вирішила питання відриву вантажу, що зробило роботу маніпулятора безпечніше для людей та унеможливило руйнування вантажу та втрату коштів підприємства. Технічне рішення вважається актуальним через те, що більшість з виробничих процесів на сьогодні є автоматизованими.

Основним недоліком розробленої системи керування стало її вартість, а саме необхідність виділення більших витрат на додаткове обладнання. Також аналіз технічного рішення виявив, що ще один з недоліків системи можна є витрата часу на налаштування програми автоматизованого керування системи.

У підсумку було розроблено актуальний на сьогодні адаптивний електропневмопривід маніпулятора, який забезпечив: виключення ситуацій

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				109
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

відриву вантажу при його переміщені; підвищення надійності роботи маніпулятора; підвищення безпеки під час роботи з маніпулятором.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунув О.В.				110
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Adaptor Valve - WABCO Catalog [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wabco-customercentre.com/catalog/en/9750020730>
2. Car Production 3D [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.shutterstock.com/search/car-production-3d>
3. High-Precision Digital Pressure Switch [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.smc-pneumatics.com/25A-ISE30A-01-N-L.html>
4. How Collaborative Robots (Cobots) Are Reshaping Logistics in 2024 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://warehousewhisper.com/collaborative-robots>
5. Proportional directional control valves МРУЕ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://media.festo.com/media/204716_documentation.pdf
6. Round cylinders DSNU [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://media.festo.com/media/204326_documentation.pdf
7. SMC SOLENOID VALVE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.smc-pneumatics.com/SY3120-5LZD-C6.html>
8. Беляєв В.І. Адаптивні системи автоматичного управління. — Київ: Наукова думка, 1976. — 312 с.
9. В.Ф. Литвиненко. Промислові роботи і маніпулятори: проектування та застосування». — Київ: Вища школа, 1987. — 348 с
10. Вакуумний ежектор CV [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mashprom.com.ua/cv-%D0%B2%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%8D%D0%B6%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80/>
11. Герц, Е.В, Крейнін Г.В. Розрахунок пневмоприводів. — Київ: Машинобудування, 1975. —272 с.

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				111
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

12. Горбунов А.В. Основы пневматических систем управления. — Київ: Техніка, 1985. — 256 с.
13. Гулієва Н. М. Механотроніка [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%95%D0%9F_%D0%93%D1%83%D0%BB%D1%96%D1%94%D0%B2%D0%B0/page18.html
14. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»:м.Київ. 01.12.1999р. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>
15. Мікропроцесор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D0%BE%D1%80>
16. Плата розробника Arduino UNO+WiFi R3 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/ru/prod2014-plata-razrabotchika-arduino-unowifi-r3>
17. Попов Є.П. Системи автоматичного управління роботами та маніпуляторами». — Харків: Основа, 1983. — 384 с.
18. Прогрес в автономній роботі гуманоїдів Eve [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://espreso.tv/tekhnologiyi-openai-prodemonstruvala-vrazhayuchiy-progres-v-avtonomniy-roboti-gumanoidiv-eve>
19. Промислові роботи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://agrotorg.net/ru/board/m-364071/promyshlennyye-roboty-rabotaem-so-vsemi-proizvoditelyami/imgs/>
20. Проць. Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник . – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. – 232с.
21. Роботи та маніпулятори в автоматизованих системах / під ред. В.М. Горшкова. — Київ: Техніка, 1982. — 368 с.

		Мазаєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				112
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		

22. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: Підручник. – Житомир: ЖІТІ, 2001. 612 с.

23. Теорія автоматичного регулювання і управління / Київ: Вища школа, 1978. – 432 с.

24. Технічна гідромеханіка. Гідравліка та пневмопривод: Підручник / В.О. Федорець, М.Н. Педченко, О.О. Федорець та ін.; За ред. В.О. Федорця. – Житомир, ЖІТІ, 1998. – 412 с.

25. Швидкісні дрони: Технічні характеристики [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://latestnews.com.ua/skorostnye-drony-tehnicheskie-harakteristiki/>

		Мазяєв Г.С.			МД.МАЗ1МП.012.00.00 ПЗ	Арк.
		Узунів О.В.				113
Зм.	Арк.	№ Документу	Підпис	Дата		