

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО

“ ____ ” _____ 2026 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

спеціальності 131 Прикладна механіка

**на тему: «Система рекуперації енергії в пневмоприводах робототехнічних
маніпуляторів»** _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи МА-21 _____

_____ Поліщук Альберт Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник к.т.н. доц. Галецький О.С. _____

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

_____ (підпис)

Консультант з охорони праці _____

(назва розділу)

к.т.н. доц. Галецький О.С. _____

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

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

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

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

_____ (підпис)

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

(підпис) _____

Київ – 2026 рік

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО

(підпис)

“ _____ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Поліщукку Альбертк Руслановичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1.Тема проєкту_ Система рекуперації енергії в пневмоприводах
робототехнічних маніпуляторів

Керівник проєкту к.т.н. доц. Галецький О.С.

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

затверджена наказом по університету від “1” червня 2026 року № 2019-с

2. Термін подання студентом проєкту 6 червня 2026 року

3. Вихідні дані до проєкту: Робочий тиск системи 6–8 бар, Об'єм ресивера 50 л, Габаритні розміри ресивера: діаметр 320 мм, довжина 850 мм, Використання бустерного регулятора для підвищення тиску, Застосування зворотного клапана та регулятора тиску, Підвищення енергоефективності пневматичної системи за рахунок повторного використання стисненого повітря, Розробка пневматичної схеми, Виконання інженерних розрахунків та підбір комплектуючих.

4.Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Огляд збиральних ліній. Їхні види, аналоги та сфери застосування, Розділ 2. Розрахунковий розділ, Розділ 3. Технологічний розділ, Розділ 4.Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо): Загальний вигляд модуля рекуперації, Пневматична принципова схема, Складальне креслення ресивера, Деталювання елементів установки, Плакати з результатами досліджень та розрахунків.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Охорона праці	к.т.н. доц. Галецький О.С.		
2. Технологія машинобудування	доц. Кореньков В.М.		

7. Дата видачі завдання 21.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін етапів проєкту виконання	Примітка
1	Отримання завдання до дипломного проєктування	27.03.2026- 28.04.2026	Виконав
2	Проходження практики	20.04.2026- 17.05.2026	Виконав
3	Розробка проєкту	18.04.2026- 25.05.2026	Виконав
4	Розробка конструкторської документації	25.05.2026- 28.05.2026	Виконав
5	Оформлення дипломного проєкту	25.05.2026- 28.05.2026	Виконав
6	Захист дипломного проєкту	16.06.2026- 19.06.2026	Виконав

Студент

(підпис)

Альберт ПОЛІЩУК

(Власне ім'я,ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту

(підпис)

Олександр ГАЛЕЦЬКИЙ

(Власне ім'я,ПРИЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Цей дипломний проект під назвою «Система рекуперації енергії в пневмоприводах робототехнічних маніпуляторів» присвячений проектуванню та дослідженню модуля рекуперації, призначеного для збору та повторного використання відпрацьованого стисненого повітря в системах пневматичних маніпуляторів. Мета роботи полягає у підвищенні енергоефективності пневматичних систем шляхом зменшення енергетичних втрат, зниження навантаження на компресорне обладнання та повторного використання залишкового тиску після завершення робочого циклу.

У першому розділі розглядаються сучасні системи рекуперації енергії та особливості використання модулів рекуперації стисненого повітря в промисловості. Розглядаються основні типи систем рекуперації, принципи їх роботи, переваги та недоліки. Аналізуються патентні рішення США, Німеччини, Японії та Китаю щодо збереження енергії стисненого повітря. Обговорюються конструктивні особливості пневматичних маніпуляторів та перспективи впровадження систем рекуперації в рамках концепції «Індустрія 4.0».

У другому розділі розглядаються проектування та розрахунок пневматичної системи для маніпулятора, оснащеного модулем рекуперації. У цьому розділі наведено схематичну діаграму системи, описано її роботу та визначено завдання модернізації. Проведено розрахунки параметрів пневматичного циліндра, витрати стисненого повітря, об'єму рекупераційного резервуара, товщини його стінок, а також конструкції опор. Також здійснюється підбір основного обладнання з використанням компонентів компаній Camozzi та HANSA-FLEX, а саме: підсилювача-регулятора, елементів підготовки повітря, трубопроводів та допоміжних компонентів системи.

У третьому розділі, присвяченому технології машинобудування, розроблено конструктивні елементи системи та розглянуто технологічні аспекти виготовлення окремих деталей. Вибрано та розглянуто матеріали, технологію виготовлення та особливості складання елементів розробленої системи.

Останній розділ присвячено питанням охорони праці. Розглянуто потенційні небезпеки, пов'язані з експлуатацією пневматичних систем, обладнання, що працює під тиском, та компресорних установок. Запропоновано технічні та організаційні заходи, спрямовані на забезпечення безпечних умов праці відповідно до чинних стандартів і вимог.

Розроблена система дозволяє зменшити споживання стисненого повітря, знизити навантаження на компресорне обладнання та підвищити загальну енергоефективність пневматичного маніпулятора. Отримані результати можуть бути використані при модернізації існуючих пневматичних систем промислових підприємств.

Ключові слова: рекуперація стисненого повітря, пневматичний маніпулятор, пневматичний ресивер, підсилювач-регулятор, пневматична система, енергоефективність, пневмопривід, автоматизація, Camozzi, HANSA-FLEX

ABSTRACT

This thesis project, titled “ Energy recovery system in the pneumatic actuators of robotic manipulators ” involves the design and study of a recovery module intended to collect and reuse exhaust compressed air in pneumatic manipulator systems. The aim of the work is to improve the energy efficiency of pneumatic systems by reducing energy losses, reducing the load on compressor equipment, and reusing residual pressure after the end of the operating cycle.

The first chapter examines modern energy recovery systems and the specifics of using compressed air recovery modules in industry. The main types of recovery systems, their operating principles, advantages, and disadvantages are examined. US, German, Japanese, and Chinese patent decisions regarding compressed air energy conservation are analyzed. The design features of pneumatic manipulators and the prospects for implementing recovery systems within the Industry 4.0 framework are discussed.

The second chapter examines the design and calculation of a pneumatic system for a manipulator equipped with a recovery module. This chapter presents a schematic diagram of the system, describes its operation, and identifies the target for modernization. Calculations are performed for the parameters of the pneumatic cylinder, compressed air flow rate, volume of the recovery receiver, its wall thickness, and the design of the supports. The selection of main equipment using components from Camozzi and HANSA-FLEX is also carried out, specifically the booster regulator, air preparation elements, piping, and auxiliary system components.

In the third chapter, dedicated to mechanical engineering technology, the structural elements of the system were developed, and the technological aspects of manufacturing individual parts were examined. The materials, manufacturing

technology, and features of the assembly of elements of the developed system are selected and considered.

The final chapter is devoted to occupational safety issues. The potential hazards associated with the operation of pneumatic systems, the operation of pressurized equipment, and compressor units are considered. Technical and organizational measures aimed at ensuring safe working conditions in accordance with current standards and requirements have been proposed.

The developed system enables to decrease the consumption of compressed air, to reduce the load on the compressor equipment, and to increase the overall energy efficiency of the pneumatic manipulator. The obtained results can be used in the modernization of the existing pneumatic systems of industrial enterprises.

Keywords: compressed air recovery, pneumatic manipulator, pneumatic receiver, pressure regulator, pneumatic system, energy efficiency, pneumatic actuator, automation, Camozzi, HANSA-FLEX

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ1. ОГЛЯД МОДУЛІВ РЕКУПЕРАЦІЇ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ В ПНЕВМАТИЧНИХ СИСТЕМАХ.....	12
1.1 Різновиди систем рекуперації у сучасному виробництві	12
1.2 Мета рекуперативних пневматичних установок.	16
1.3 Особливості рекуперації енергії у пневматичних системах.....	17
1.4Аналіз патентів у відновленні стисненого повітря.	24
1.4.1 Анліз патентних рішень США	25
1.4.2Анліз патентних рішень Німеччини	27
1.4.3 Анліз патентних рішень Японії.....	29
1.4.4 Анліз патентних рішень Китаю	30
1.4.5 Порівняння патентних рішень	30
1.5 Особливості роботи пневматичних маніпуляторів	31
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ МАНІПУЛЯТОРА	33
2.1 розробка принципової схеми пнвматичної схеми пневматичної системи маніпулятора з рекуперацією	33
2.2 Опис принципу роботи пневматичної системи маніпулятора з рекурацією стисненого повітря	37
2.3 Визначення вихідних параметрів та розрахунок пневматичної системи маніпулятора	40
2.4 Розрахунок площі поршня та діаметра пневмоциліндра	43
2.5 Розрахунок витрати повітря пневматичного маніпулятора	43
2.6 Розрахунок хвилинної витрати повітря	45
2.7 Обчислення ємності рекупераційного ресивера	45
2.8 Розрахунок бустерного регулятора\.....	52
2.9 Підбір обладнання	54

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб						Лист	Арк.
Перевір							1
Н. Контр.							
Затверд							

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ	56
3.1. Технологічний контроль якості креслення.....	56
3.2 Завдання на розробку технологічного процесу.....	58
3.3 Вибір заготовки.....	59
3.4 Розробка маршрутного технологічного процесу	59
Продовження таблиці 3.2	63
3.5. Вибір різального інструменту. Розрахунок режимів різання	64
Висновок до розділу 3	68
РОЗДІЛ4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	69
4.1 Мікроклімат	70
4.2 Освітлення.....	70
4.3 Електробезпека	71
4.4 Пожежна безпека	72
Висновок до розділу 4	74
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК.....	75
ЛІТЕРАТУРА.....	77

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

З розвитком промисловості та автоматизацією виробничих процесів рівень енергоефективності технічного обладнання стає особливо важливим.

Однією з найпопулярніших систем автоматизації є пневматичні механізми, які широко використовуються в машинобудуванні, системах доставки для логістики, робототехніці, пакувальному обладнанні та автоматичних складальних лініях. Важливими перевагами пневматичних систем є простота в конструкції, висока швидкість, надійність та безпека під час експлуатації.

Водночас пневматичне обладнання має дуже великий недолік - величезні втрати енергії через стиснене повітря. У більшості стандартних машин повітря після робочого етапу викидається в атмосферу через вихлопні канали пневматичних розподільчих пристроїв.

Внаслідок цього компресорні машини використовують значно більше електроенергії. З огляду на постійне зростання вартості та покращення енергоефективності, досягнутої у виробничому процесі, варто розглянути впровадження системи відновлення стисненого повітря. Залишковий тиск, що накопичується після завершення робочого циклу, може бути використаний у пневматичній системі, розробленій за допомогою цих систем.

Метою цієї роботи є реалізація модуля відновлення стисненого повітря для пневматичної системи маніпулятора та аналіз його впливу на енергоефективність пневматичної системи.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:

- Провести аналіз сучасних систем рекуперації стисненого повітря.
- Дослідити особливості роботи пневматичних маніпуляторів.
- Розробити принципову схему системи рекуперації.
- Виконати розрахунок основних параметрів системи.
- Провести підбір необхідного обладнання.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Розробити конструкцію модуля рекуперації.
- Розглянути технологію виготовлення елементів конструкції.
- Забезпечити вимоги охорони праці під час експлуатації системи.
- Оцінити ефективність запропонованого технічного рішення.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МОДУЛІВ РЕКУПЕРАЦІЇ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ В ПНЕВМАТИЧНИХ СИСТЕМАХ

1.1 Різновиди систем рекуперації у сучасному виробництві

У сучасній промисловості застосовуються різні види систем рекуперації енергії, які використовуються для повторного використання втрат енергій у виробничих процесах.

До основних видів систем рекуперації належать:

1. теплообмінні системи;
2. системи регенерації газів;
3. гідравлічні системи рекуперації;
4. електричні системи рекуперації;
5. системи рекуперації стисненого повітря.

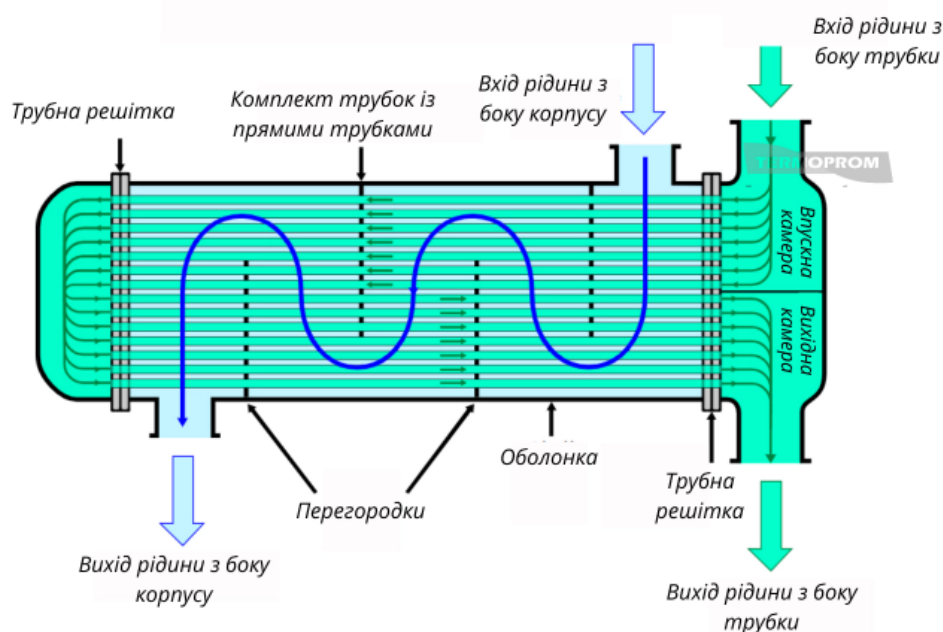


Рис. 1.1. Принципова схема теплообмінника [1]

Теплообмінні системи використовуються для передачі теплової енергії від нагрітих потоків до холодних середовищ. Такі системи широко

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуються у вентиляційних установках та промислових теплових процесах. (рис.1.1)

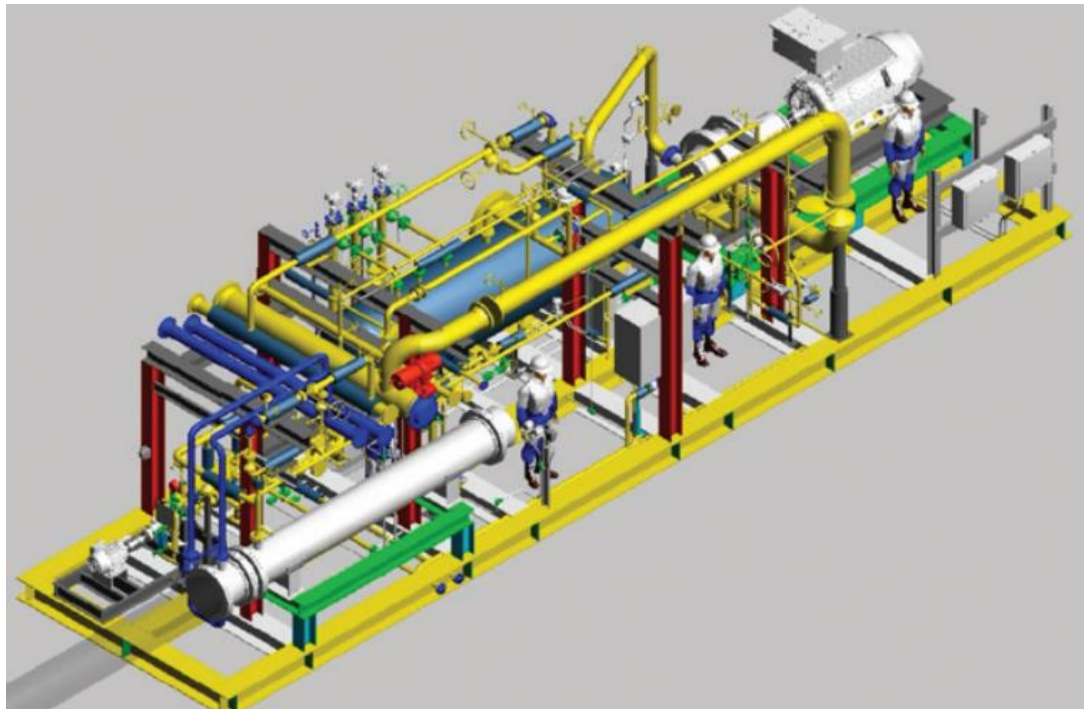


Рис. 1.2. Загальний вигляд, системи регенерації газів [2]

Системи регенерації газів широко застосовуються у сучасній промисловості для повторного використання газів, яку утворились під час технологічних процесів. Найбільш широкого використання системи регенерації газів застосовуються у металургії, нафтовій та газовій промисловості, хімічному виробництві та енергетиці. (рис.1.2.)

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

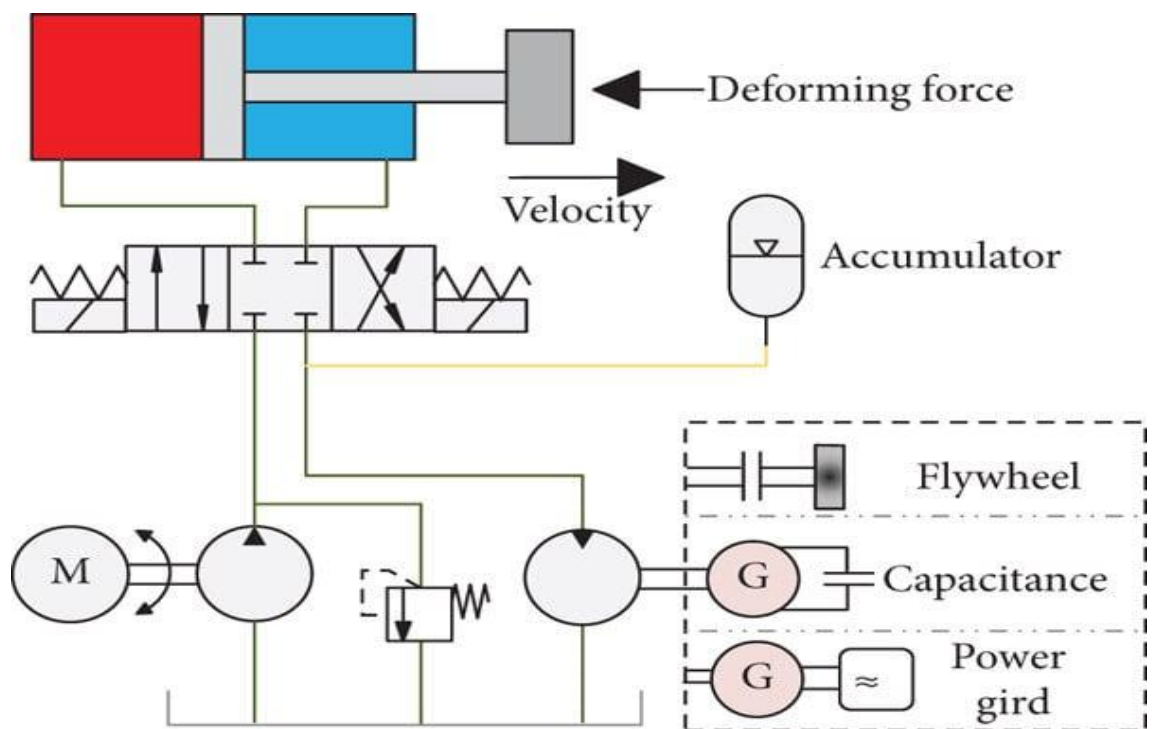


Рис. 1.3. Загальний вигляд гідравлічних систем рекуперації

Гідравлічні системи рекуперації використовують накопечення енергії рідини в гідроаккумуляторах, частіше гідроаккумулятори заправляються азотом, та використовуються в техніці, пресовому обладнанні та транспортних системах.(рис.1.3)

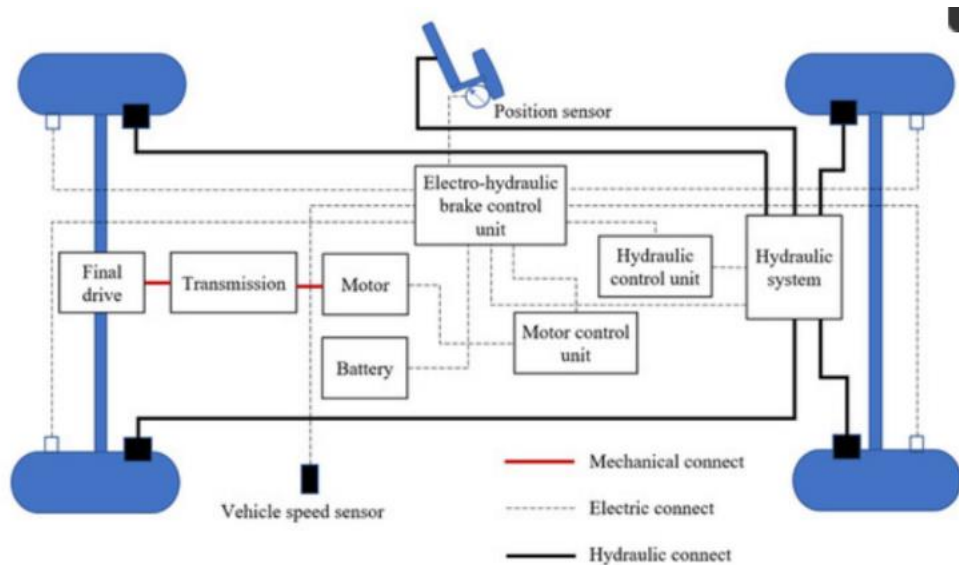


Рис. 1.4. Загальний вигляд системи електричної рекуперації в електрокарі [3]

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електричні системи рекуперації широко використовуються в електротранспорті, де в свою чергу кінетична енергія гальмування перетворюється на електричну та накопичується в акумуляторі.(рис.1.4)

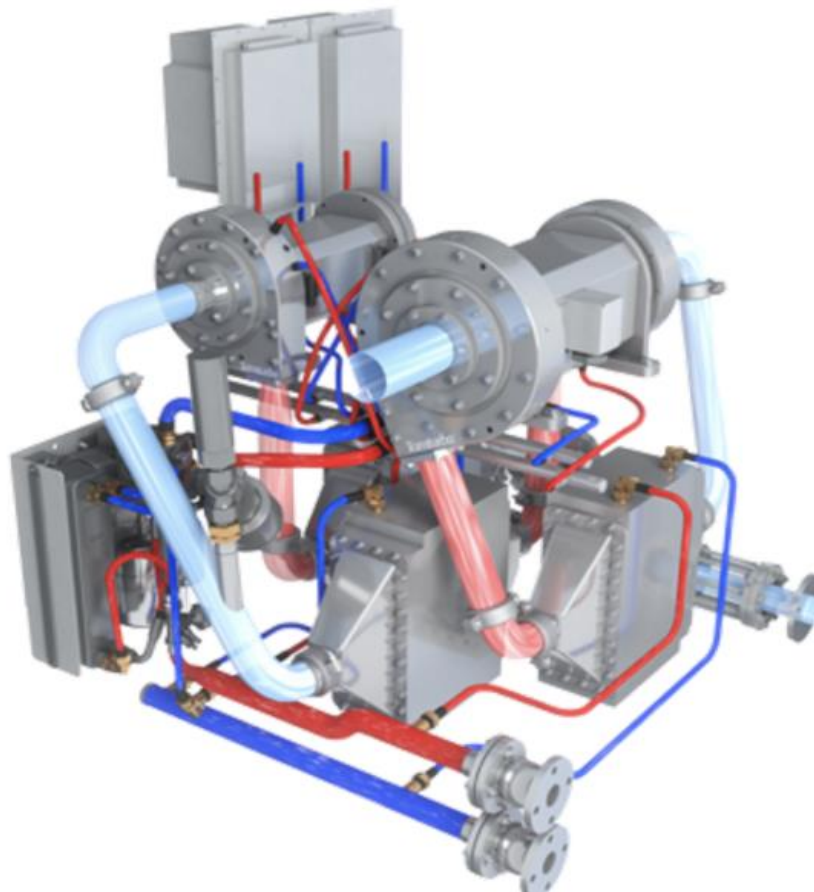


Рис. 1.5. Установка для рекуперації стиснутого повітря[4]

Системи рекуперації стиснутого повітря базуються на повторному використанні повітря після виконання робочого циклу. Найчастіше реалізуються за допомогою ресиверів, пневмоакумуляторів, бустерів та спеціальних клапанних систем. (рис.1.5)

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Мета рекуперативних пневматичних установок.

Модулі відновлення стисненого повітря відновлюють надлишковий тиск під час роботи та зменшують втрати енергії в пневматичній системі. Для звичайних пневматичних систем стиснене повітря викидається з пневматичної системи в навколишнє середовище, коли робочий цикл завершено, через вихідні порти, розташовані в пневматичному розподільнику. Багато енергії, яку компресор використовує для створення тиску повітря, втрачається в процесі. Це призводить до:

1. збільшення споживання енергії;
 2. більшого навантаження на компресорний апарат;
 3. збільшення поточних витрат;
 4. зниження загальної ефективності системи.
1. Використання рекуперативних установок дозволяє:
1. накопичення надлишкового тиску;
 2. повторне використання стисненого повітря;
 3. зменшення витрат на електроенергію;
 4. зменшення навантаження на компресори;
 5. продовження терміну служби пневматичного механізму;
 6. покращення загальної енергоефективності.

Ці пристрої особливо корисні у виробництві з великим обсягом, де є багато циклічних пневматичних дій з великою кількістю стисненого повітря.

Модулі відновлення стисненого повітря використовуються в:

1. автоматизованих виробничих лініях;
2. роботизованих установках;
3. пневматичних навантажувачах;
4. пакувальних машинах;
5. налаштуванні транспортних засобів;
6. заводських пневматичних приводах.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Особливості рекуперації енергії у пневматичних системах

Сьогодні, коли промисловість стрімко розвивається, енергоефективність пневматики стає дедалі важливішою, як було зазначено вище. Автоматизовані лінії, комплекти на основі роботів - усе це збільшує попит на стиснене повітря. Тепер без рекуперації енергії обійтися важко: нові технології дають можливість її повернути назад у процес. Часткове використання раніше втраченої енергії допомагає знестабілізувати витрати. Не завжди очевидно, але навіть невеликі системи мають потенціал для оптимізації. Раз за разом доводиться шукати способи скорочення втрат - й ось тут технології рекуперації починають грітися в увазі. Поступово вони переходять із дослідницьких лабораторій прямо на виробництво. Майбутнє таких рішень - не в теоретичних розрахунках, а в реальному застосуванні. Замість просто викидати енергію, краще спробувати її зберегти хоч частково. Економіка процесу починає мати сенс там, де потреба в пневмоенергії постійна.

Відпрацьоване повітря в типових системах просто викидається назовні - крізь випускні клапани після закінчення операцій. Замість того, щоб губити його потужність, новіші установки перетворюють залишковий тиск на корисну дію. Енергія, яку інакше б ніхто не використав, тепер повертається назад у процес. Цей прийом допомагає значно скоротити невиправдані витрати живлення. Коефіцієнт корисної дії всієї пневматичної ланки при цьому помітно поліпшується.

Значний приріст ефективності виникає завдяки поверненню частини повітря назад у процес. Через це навантаження на компресори стає нижчим - і результатом є скорочення витрат на живлення. Для великих заводів такий підхід має серйозне значення, адже там станції постачання повітря споживають багато електроенергії.

Окрім іншого, значно зростає енергоефективність пневмоприводів. Через застосування рекуперації витрати енергії в системі стають меншими,

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тим самим ККД обладнання підвищується. Там, де маніпулятори працюють у режимі постійних циклів, такий підхід дає найвиразніший результат.

Частота запуску компресора спадає завдяки системам рекуперації. Робочий тиск у пневмосистемі при цьому лишається сталим. Знос механічних деталей обладнання уповільнюється помітно. Термін служби компресора стає довшим без зайвих операцій. Навантаження на агрегат скорочується - шум і тепло виділяється менше. У результаті майстерня стає тишішою й прохолоднішою.

Екологічна вигода систем рекуперації - це не просто деталь, а помітний ефект. Менше електроенергії витрачається - значить, викиди скорочуються самі собою. Підприємство стає легшим для довкілля, коли починає менше спалювати ресурси. Сьогодні технології рухаються в бік економії й чистоти повітря. Енергоефективність тепер важить не менше, ніж продуктивність. Хоча системи рекуперації пропонують багато корисних рис, вони ж також тягнуть за собою окремі проблеми. Складність будови пневмосистеми - одне з головних обмежень такого підходу. Реалізувати процес стає можливим лише через додавання нових компонентів типу:

1. пневморесивери;
2. зворотні клапани;
3. бустерні регулятори;
4. регулятори тиску;
5. додаткові трубопроводи.

До розмірів установки додаються зайві частини - це автоматично збільшує простір, який вона займає. Вартість повзе вгору разом із кількістю елементів у конструкції. Складніше стає не лише поєднання деталей, а й процес налагодження. У порівнянні з класичними пневморозв'язками такі варіанти вимагають більше часу та уваги.

Окрім іншого, важливо стежити за тиском відновленого повітря - без цього параметри системи починають мінятися. Якщо настройки будуть

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

неточними, пневматичні циліндри працюватимуть хаотично. Із часом це призводить до сповільнення реакції механізму.

Інколи застосування рекуперації не виправдовує себе фінансово - це часто стосується дрібних установок із малим потоком повітря. Працездатність такої схеми залежить насамперед від графіка роботи агрегатів, числа запусків і загального обсягу витрати стисненого повітря.

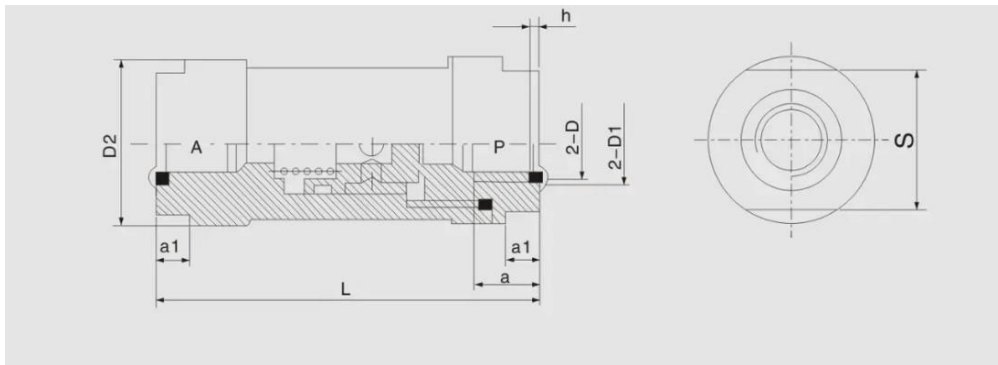


Рис. 1.6. Загальний вигляд зворотного пневматичного клапану[5]

Загальний принцип роботи зворотного клапана полягає в тому, що робоча рідина або газ утримуються в системі таким чином, щоб вони не поверталися назад. Клапан має корпус, який служить основою, ущільнювальний елемент, який може бути кулькою, пластиною або шпулем, пружину, що допомагає утримувати ущільнювальний елемент на місці, та ущільнювальні елементи для забезпечення герметичності.(рис.1.6)

Коли стиснене повітря надходить у напрямку проходження, тиск повітря перевищує силу пружини, що змушує ущільнювальний елемент рухатися, відкриваючи прохідний канал. У цьому режимі повітря вільно проходить через клапан до споживача.

Коли тиск на вході зменшується або починається зворотний потік повітря, пружина разом із тиском з боку виходу змушує ущільнювальний елемент притискатися до сидла клапана. Повітря не може повернутися в зворотному напрямку, і прохід повністю блокується.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

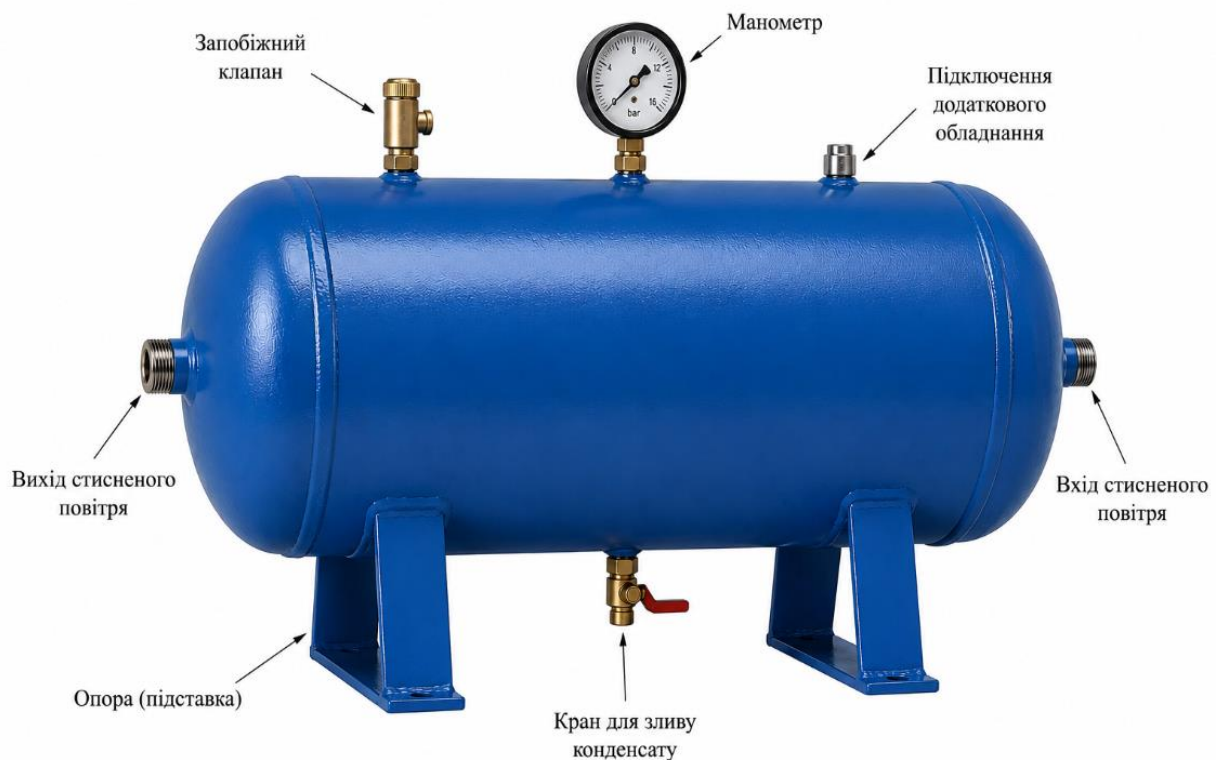


Рис1.7. Загальний вигляд пневморесиверу

Основний принцип роботи пневматичного ресивера полягає в тому, що стиснене повітря подається від компресора. Використовуючи вхідну трубу, повітря доставляється у внутрішній об'єм ресивера, де зберігається під певним тиском протягом певного часу.(рис.1.7)

Один із способів вентиляції в пневматичній системі: з ресивера випускається стиснене повітря, щоб пройти до споживачів. Великий внутрішній об'єм ресивера дозволяє утримувати більш постійний тиск при змінних умовах швидкості потоку повітря.

Стиснене повітря частково охолоджується, коли повітря вводиться в ресивер. Це викликає конденсацію водяної пари, що міститься в повітрі, і пара осідає на дно ресивера, де вона конденсується. На дні ресивера встановлено кран для зливу.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

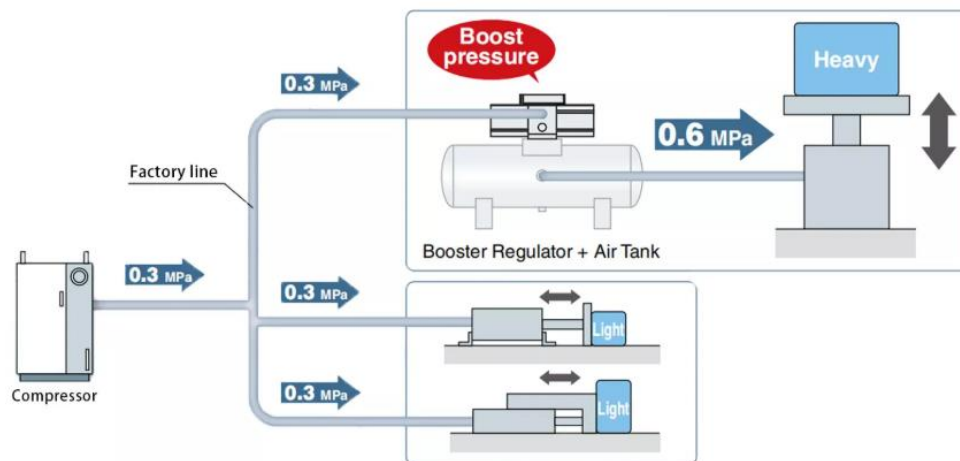


Рис.1.8. Загальний вигляд системи з використанням бустерного регулятора [6]

Підсилювальний регулятор дає змогу підвищити тиск стисненого повітря в пневматичній системі без використання спеціального високотискового компресора для накачування повітря.(рис.1.8)

Він базується на ідеї, що енергія повітря низького тиску утворює повітря високого тиску. Функція підсилювального регулятора керується законом Паскаля та різницею площі поршнів.[7]

Підсилювач складається з кількох частин — камери приводу, камери підсилення, поршня з штоком, системи клапанів та механізму перемикання. Камера приводу приймає стиснене повітря низького тиску. Поршень реагує на тиск і починає рухатися.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки поршень приводу має більшу площу поверхні, ніж поршень камери підсилення, створюється велика сила, яка штовхає повітря всередині камери підсилення до підвищеного тиску. У цей момент регулятор тиску дозволяє використовувати стиснене повітря в пневматичній системі при постійному тиску, незалежно від змін вхідного тиску або різниці в споживанні повітря споживачем.



Рис.1.9. Регулятор тиску типу K-DRG VORDRUCK[13]

Регулятор тиску повітря забезпечує постійний тиск стисненого повітря в пневматичній системі незалежно від коливань тиску на вході або зміни споживання повітря споживачем.(рис.1.9)

Електропневматичний розподільник використовується для спрямування потоку стисненого повітря в пневматичній системі за допомогою електричного сигналу. Він приймає стиснене повітря та подає його до виконавчого механізму, такого як пневмоциліндр або пневмодвигун, а також випускає використане повітря в атмосферу.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.1.10. Електропневматичний розподільник типу К-071504[13]

Принцип роботи: електромагнітний клапан - це двополюсний клапан, який використовує електромагнетизм для руху золотника або тарільчастого клапана.(рис.1.10)

Більше деталей у конструкції - система стає об'ємнішою, коштує дорожче. Встановлювати її доводиться довше, ніж звичайні пневмосхеми, адже процес налагодження вимагає більше часу й уваги.

Окрім іншого, потрібно стежити за тиском відновленого повітря - без цього параметри системи починають мінятися. Якщо настройки будуть помилковими, устаткування може працювати з перебоями. Зокрема, коливається тиск, порушується чіткість ходу пневматичних циліндрів, сповільнюється реакція механізму.

Інколи застосування рекуперації не виправдовує себе фінансово - це часто стосується менших установок із малим потоком повітря. Працездатність такої схеми тісно пов'язана з тим, як довго працює техніка, скільки разів вмикається й наскільки велике навантаження створюється споживачами стисненого повітря.

Хоч і мають окремі межі, установки для повернення енергії стисненого повітря вказують на новий шлях у модернізації пневмосистем. Замість просто працювати, вони допомагають заощаджувати електроенергію, знижуючи

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження на обслуговування - результативність агрегатів при цьому помітно зростає.

Замість просто працювати, сучасні пневмосистеми маніпуляторів тепер повертають частину енергії назад у процес. Це допомагає їм функціонувати сталіше - без стрибків і перебоїв. Економія електроенергії виходить не за рахунок продуктивності, а завдяки кращому контролю над рухами. Автоматизація стає точнішою, коли система вміє повторно використовувати те, що раніше йшло марно. Такий підхід зменшує загальне навантаження на лінію, не сповільнюючи цикл.

1.4. Аналіз патентів у відновленні стисненого повітря.

У сфері розвитку автоматизованого виробництва підвищення енергоефективності пневматичних систем стало однією з важливих наукових досліджень і напрямків розвитку технологій. Деякі промислові підприємства використовують пневматичні приводи в роботизованих комплексах, маніпуляторах, транспортних системах і конвеєрних лініях. З огляду на високу ціну електроенергії від виробництва стисненого повітря, великі компанії по всьому світу зосереджують виробництво на системах, щоб мати можливість повернути частину енергії.

Огляд поточних патентів свідчить, що дослідження в основному зосереджені на:

1. зменшенні втрат стисненого повітря;
2. підвищенні ефективності пневматичних систем;
3. підтримці стабільного тиску;
4. повторному використанні використаного повітря;
5. автоматизації процедур відновлення.

Ці типи технологій швидко розвиваються в США, Німеччині, Японії та Китаї, де енергоефективність у промисловості широко розглядається як одна з актуальних сфер досліджень.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.1. Аналіз патентних рішень США

У США проведено багато роботи з вивчення енергоефективних пневматичних систем для промислової робототехніки та автоматизації. Більшість патентів спрямовані на розробку систем управління, які дозволяють повторно використовувати стиснене повітря.

Одним з основних напрямків є використання більшої кількості повітрозбірників для прийому використаного повітря після завершення роботи пневмоциліндрів. Це повітря потім використовується для додаткової роботи або повертається в систему за допомогою спеціальних регуляторів. (рис.1.11)

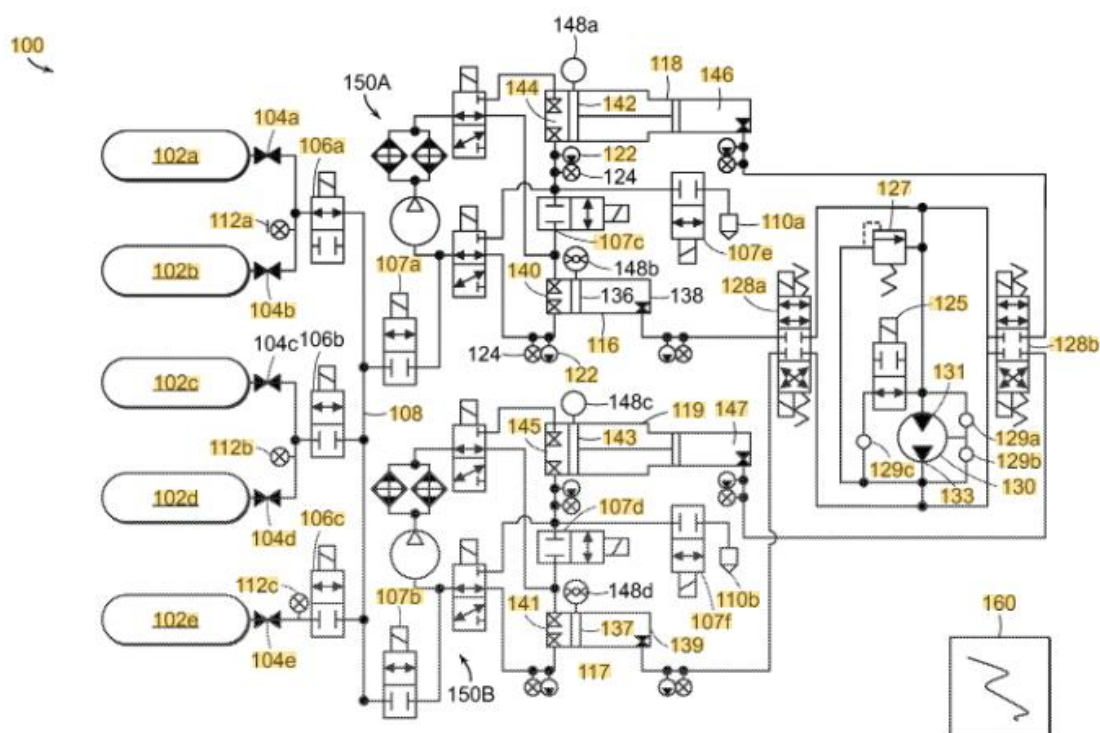


Рис. 1.11. Схема рекуперації тиску SAT 336E H [7]

		Поліщук А.Р.			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С.				25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.12. екскаватор CAT 336E Н [8]

Американські компанії впроваджують системи, які наповнені рішеннями, такими як автоматичне регулювання тиску, електронні датчики потоку повітря, інтелектуальне управління компресором, а також адаптивні системи регулювання тиску. Одним з примітних аспектів американських патентів є автоматизація та інтеграція пневматичних систем у загальне управління процесом виробництва.

Американські патенти також часто спрямовані на комбінування пневматики та гідравліки у масштабних системах накопичування енергії (CAES – Compressed Air Energy Storage). Гарним прикладом цих систем є компанія Caterpillar (CAT), що чвсто викорситовує ці системи у своїх кар’єрних навантажувачах та екскаваторах.(рис.1.12)

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.2. Аналіз патентних рішень Німеччини

Німеччина є однією з провідних країн світу в галузі промислової автоматизації та пневматичних технологій. Провідні німецькі компанії активно займаються розробкою систем відновлення стисненого повітря для роботизації виробничих комплексів та автоматичних маніпуляторів.

Основна увага німецьких патентів зосереджена на зменшенні енергетичних витрат, підвищенні стабільності виробничих систем, зменшенні навантаження на компресорні станції та застосуванні систем відновлення як частини Industry 4.0.

Крім того, вони регулярно розробляють багатоконтурні системи, які накопичують використане повітря залежно від тиску в деяких ресиверах, і багато нових поколінь електропневматичних розподільників, підсилювальних регуляторів у поєднанні з автоматичним налаштуванням цифрового моніторингу тиску, датчиків тиску в режимах роботи двигуна і пневматичного приводу, які економлять енергію, широко використовуються. Висока надійність, складність і рівень енергозбереження описані в характері цих патентів.

Чудовим прикладом такого патенту буде модуль MSE6-C2M від компанії Festo, що використовується на заводах Volkswagen Group, а саме на лініях кузовного зварювання у роботах-затискачах.

Industry 4.0, це концепція інтеграції цифрової технології, автоматизації та інтелектуальних систем у виробництво процесів на великих масштабах. Ідея полягає в створенні Кеель Кміт, об'єднаної мережі, яка з'єднує апаратне забезпечення, сенсори, виконавчі системи та інформаційні системи для спілкування у режимі реального часу.

Головна особливість Industry 4.0- це інтеграція кіберфізичного ладу, промислового інтернету речей, хмарних технологій, штучного інтелекту та великих даних. Це дозволяє автоматичний контроль процесів виробництва,

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прогнозування проблем з обладнанням, оптимізації енергії та підвищення ефективності компанії.

У галузі пневмонії та гідрантної технології Industry 4,0 використовується для спостереження за тиском, повітрям, апаратним керуванням та автоматичними параметрами системи. Інтелектуальні сенсори можуть передавати інформацію до системи управління, що дає змогу діагностувати реальний час і низьковідворотні засоби.

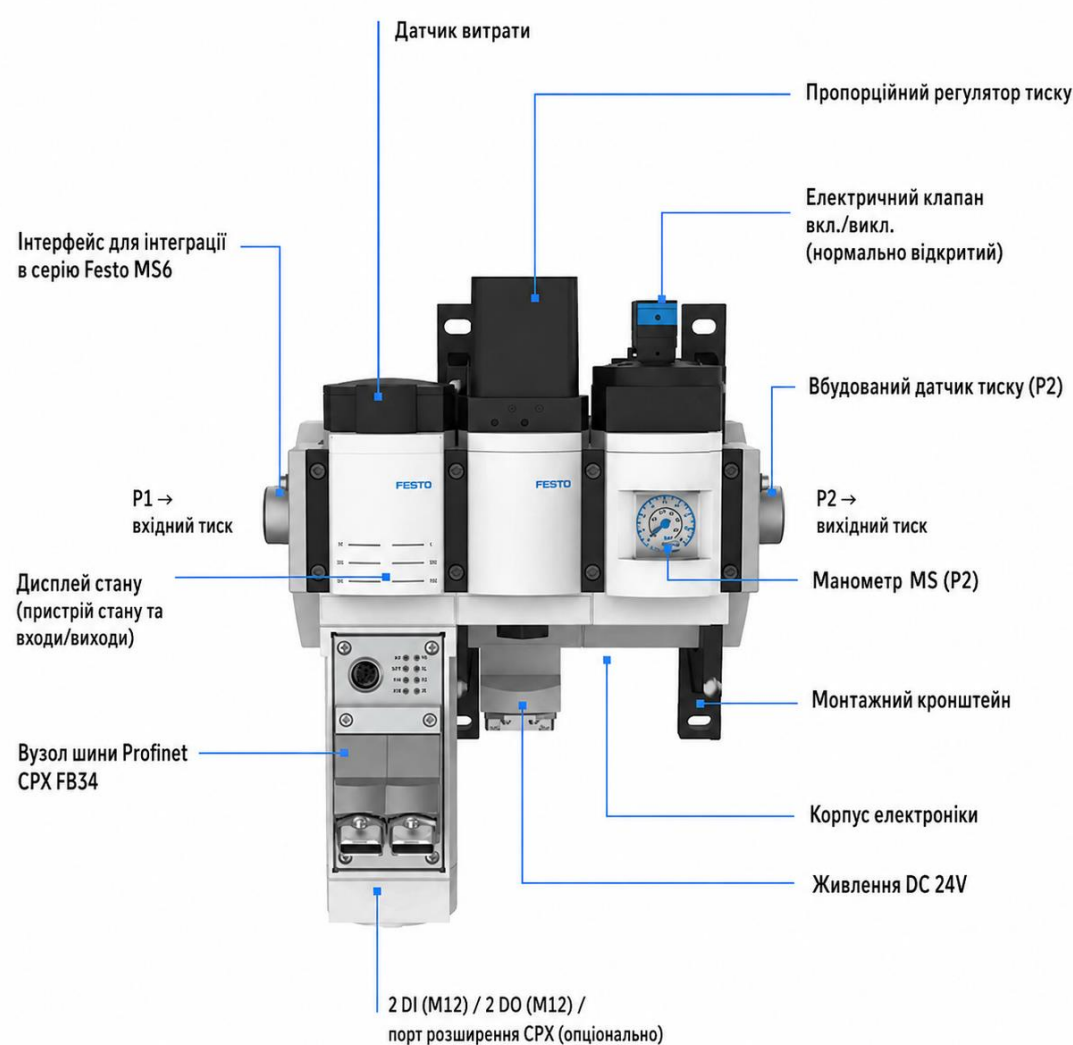


Рис.1.12. Модуль MSE6-C2M[9]

Використовуючи Industry 4.0 в сучасних системах автоматизації, можна збільшити продуктивність праці, зменшити споживання енергії, підвищити рівень безпеки обладнання та поліпшити загальну технічну ефективність. Ось чому світові лідери в автоматизованих системах активно інтегрують цю концепцію у свої власні технологічні рішення.

1.4.3. Аналіз патентних рішень Японії

Японські фірми знаходяться на передовій розвитку робототехніки та технологій автоматизації. Відповідно, велика кількість японських патентів стосується систем відновлення, які можуть бути використані на компактних пневматичних маніпуляторах і роботизованих механізмах. Японські досягнення характеризуються:

1. компактними конструкціями;
2. високою швидкістю роботи;
3. економічним споживанням енергії;
4. мікропроцесорним управлінням.

У японських системах відновлення зазвичай застосовуються такі елементи:

1. мініатюрні ресивери;
2. точні регулятори тиску;
3. швидкі електропневматичні клапани;
4. інтелектуальні системи управління потоком повітря.

Велика увага приділяється забезпеченню стабільної роботи маніпуляторів навіть при високих частотах циклів. Для цієї роботи забезпечується автоматичне управління тиском і швидкістю на пневмоциліндрах. Японські патенти зазвичай визнаються за їх технологічну перевагу та орієнтацію на розвиток робіт.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.4. Аналіз патентних рішень Китаю

Китайські патентні рішення аналізуються. Китай зараз активно розвиває нові технології для промислової автоматизації та пневматичних систем в останні роки. Вітчизняні виробники вже звернулися до недорогих і енергоефективних систем відновлення, спрямованих на масовий промисловий масштаб. Ключовими характеристиками китайських патентів є низькі ціни, низька вартість виробництва та здатність до масового виробництва з їх конструкціями. Крім того, вони модифіковані для різних типів пневматичних апаратів.

Китайський розвиток зазвичай використовує типові пневматичні ресивери та підсилювальні системи, зі спрощеними підсилювальними системами, комбінованим підходом до відновлення та модульним дизайном. Багато з них також адаптовані для конвеєрних ліній, пакувального обладнання, пневматичних маніпуляторів і транспортних систем. Китайські патентні рішення сприяють загальному застосуванню енергозберігаючих технологій у промисловості в масштабі та знижують енергетичні витрати, пов'язані з оновленням існуючих пристроїв. Контраст у патентних рішеннях.

1.4.5. Порівняння патентних рішень

У висновку можу сказати, що системи відновлення стисненого повітря активно розвиваються в багатьох країнах, хоча метод їх фактичного створення має багато варіантів. Деякі з цих розробок в Америці спрямовані на високу автоматизацію та інтелектуальне управління. У Німеччині акцент робиться на енергозбереженні та складних механізмах управління. Японські системи побудовані на компактності та швидкості, тоді як у Китаї підкреслюються такі особливості, як простота використання та доступність.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5. Особливості роботи пневматичних маніпуляторів

У сучасному машинобудуванні зустрічаються пневматичні маніпулятори - їх застосовують на автоматизованих лініях, у складальних модулях, а також у системах перевезення матеріалів. Рухати, фіксувати, брати та подавати об'єкти - ось основне, для чого створено ці пристрої.

Швидкість - ось що на першому місці у пневматичних маніпуляторів, разом із незаметно простою будовою. Маленькими за розміром приводи стають через повітря як основу, при цьому не зникає стійкість до важких режимів. Працюють там, де багато хто вже відмовився б.

Як правило, пневматичний маніпулятор складається з:

1. пневмоциліндрів;
2. електропневматичних розподільників;
3. регуляторів тиску;
4. пневморесиверів;
5. системи трубопроводів;
6. системи автоматичного керування.

Коли маніпулятор працює, рух передається через пневматичні циліндри - вони виконують поступальні або обертальні дії для зміщення робочого елемента. Циклічність є типовою: однакова послідовність рухів проходить неодноразово, триваючи годинами без перерви.

З кожним новим циклом роботи пневматика забирає все більше повітря. Через постійний попит компресорам доводиться працювати інтенсивніше. В результаті - зростає навантаження на устаткування. Енергія витрачається швидше, ніж планувалося спочатку.

Замість звичного скидання стисненого повітря в атмосферу - у маніпуляторах все частіше використовують його повернення через спеціальні пристрої. Цей підхід дає можливість не викидати енергоносіїв, а спрямувати назад у систему для подальшої роботи.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результат - менше витрат на стиск повітря при черговому циклі функціонування обладнання.

Використання рекуперації у пневматичних маніпуляторах дозволяє:

1. знизити витрати стисненого повітря;
2. зменшити споживання електроенергії;
3. підвищити стабільність роботи системи;
4. зменшити навантаження на компресор;
5. збільшити ресурс пневматичного обладнання.

Отже, установка систем для повернення енергії може стати кроком у розвитку існуючих пневматичних рук. Хоча це не обов'язково останнє слово техніки, такий шлях дає змогу покращити дію пристроїв. Через те що втрата повітря - серйозна проблема, нові схеми допомагають зберегти частину тиску. Тому вдосконалення апаратів часто починається саме з таких елементів. Проте результати залежать від конкретної конструкції й режиму робіт

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ МАНІПУЛЯТОРА

2.1. розробка принципової схеми пневматичної схеми пневматичної системи маніпулятора з рекуперацією

Під час проєктування сучасних пневматичних систем одним із головних завдань є забезпечення високої енергоефективності та зниження витрат на виробництво стисненого повітря. Відомо що значна частина енергії у стандартних пневматичних системах втрачається під час вихлопу відпрацьованого повітря в атмосферу після завершення робочого циклу виконавчих механізмів. У системах маніпуляторів, де пневматичні приводи працюють у циклічному режимі з великою кількістю повторень, такі втрати є особливо значними.

Для зменшення енергетичних втрат у даній роботі запропоновано використання модуля рекуперації стисненого повітря, який дозволяє накопичувати частину відрацьованого повітря та повторно використовувати його у подальших роботах циклах. Це дозволяє підвищити загальний ККД пневматичної системи та зменшити навантаження на компресорне обладнання.

Розроблена пневматична система маніпулятора складається з основних та допоміжних елементів, які забезпечують підготовку, подачу, розподіл та рекуперацію стисненого повітря.

До складу системи входять:

1. компресор;
2. блок підготовки повітря;
3. регулятор тиску;
4. електропневматичний розподільник;
5. пневмоциліндр двосторонньої дії;

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. зворотний клапан;
7. пневморесивер;
8. бустерний регулятор;
9. модуль рекуперації;
10. система трубопроводів.

Компресор є джерелом стисненого повітря і допомагає створювати робочий тиск, що застосовується в системі. Стиснене повітря з компресора потрапляє в блок підготовки, де воно очищується від механічних домішок, видаляється волога, і стабілізуються параметри робочого середовища. Після проходження через блок підготовки повітря потрапляє в регулятор тиску.

Регулятор підтримує необхідний рівень тиску, незважаючи на коливання в магістралі та зміни навантаження під час роботи системи. Якщо регулятор встановлений, він запобігає перевантаженню компонентів пневматичної системи, а також стабілізує виконавчі механізми.

Електропневматичні розподільники використовуються для подачі стисненого повітря в пневмоциліндр. Вони служать елементом зміни напрямку і приводять у рух шток пневмоциліндра.

Розподільник працює з електричним сигналом, отриманим від системи управління маніпулятором.

Пневмоциліндр подвійної дії виступає як виконавчий механізм, що використовується в цій системі. Він може керувати рухом розподільника і може використовуватися для переміщення штока циліндра як вперед, так і назад, подаючи стиснене повітря в відповідні порожнини.

Під час прямого ходу при механічній дії повітря подається в порожнину поршня циліндра, щоб підтримувати рух штока і виконувати необхідну технологічну операцію. Повітря подається в порожнину штока для руху і повернення штока в початкове положення при зміні положення розподільника.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Традиційні пневматичні системи працюють так, що після завершення циклу використане повітря викидається через вихлопні отвори безпосередньо в атмосферу. Ця техніка пов'язана з великими втратами енергії. Щоб уникнути цього обмеження, в розробленій конструкції використовується система відновлення стисненого повітря.

Замість того, щоб виходити в атмосферу після завершення робочого циклу, використане повітря направляється в пневматичний ресивер через зворотний клапан. Зворотний клапан дозволяє повітрю рухатися тільки в одному напрямку і запобігає його поверненню назад в магістраль. Таким чином, використане повітря накопичується без втрати тиску.

Пневматичний ресивер виступає як акумулятор відновленого повітря. Це дозволяє повторно використовувати його в наступних робочих циклах системи завдяки запасу повітря. Крім того, ресивер дозволяє придушувати пульсації тиску, тим самим стабілізуючи роботу системи. Регулятор-підсилювач таким чином використовується для підвищення ефективності накопиченого повітря в системі.

Регулятор-підсилювач(бустерний регулятор) підвищує рівень тиску відновленого повітря до відповідного робочого рівня. У цьому дослідженні основа роботи регулятора-підсилювача знайдена в різниці площ поршнів і законі Паскаля.[11] Це дозволяє використовувати накопичене повітря навіть у разі втрати тиску під час відновлення.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

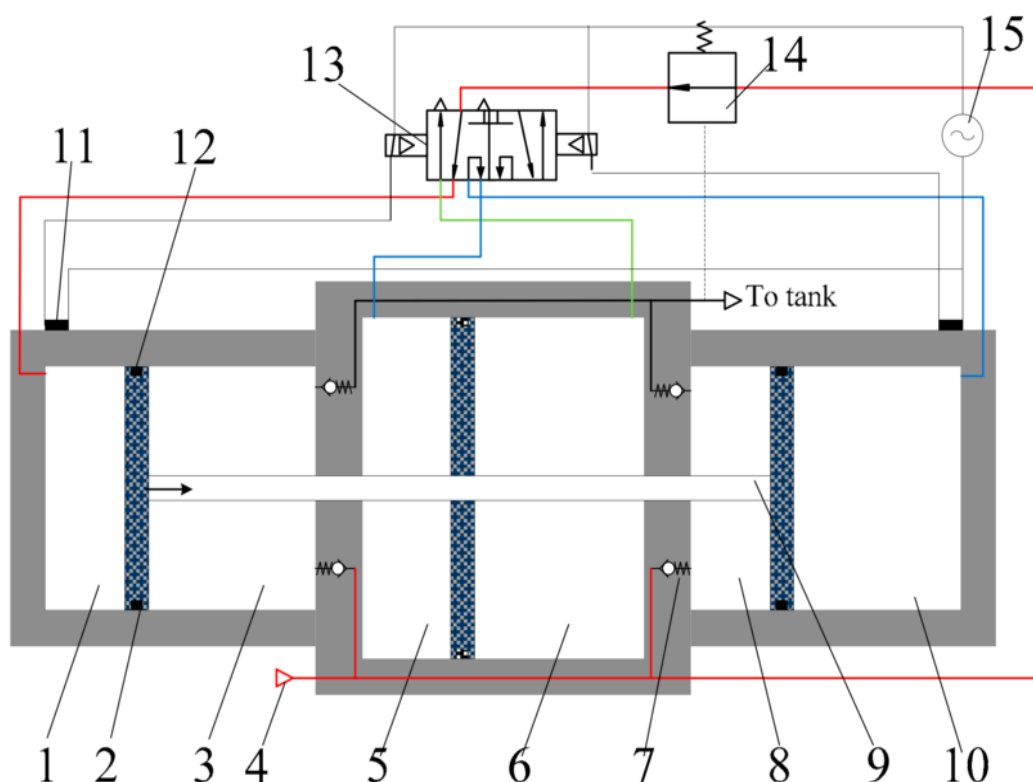


Рис.2.1. Конструктивна схема бустерного регулятора тиску на основі поршневої групи. 1: приводна камера А, 2: поршень, 3: камера підсилювача А, 4: джерело повітря, 5: камера рекуперації А, 6: камера рекуперації В, 7: зворотний клапан, 8: камера підсилювача В, 9: шток поршня, 10: приводна камера В, 11: магнітний вимикач, 12: магнітне кільце, 13: електромагнітний клапан 7/2, 14: регулятор, 15: джерело живлення [10]

Запропонована схема роботи системи забезпечує часткове повернення енергії від використаного повітря і знижує вартість виробництва стисненого повітря відносно значно.

Використання системи рекуперації у пневматичному маніпуляторі дозволяє:

1. знизити споживання стисненого повітря;
2. зменшити навантаження на компресор;
3. підвищити коефіцієнт корисної дії системи;
4. зменшити втрати енергії;
5. стабілізувати роботу виконавчих механізмів;
6. збільшити ресурс обладнання.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, запропонована принципова схема пневматичної системи маніпулятора з модулем рекуперації дозволяє підвищити енергоефективність системи та створює основу для проведення подальших розрахунків і досліджень параметрів роботи обладнання у наступних підрозділах.

2.2. Опис принципу роботи пневматичної системи маніпулятора з рекурацією стисненого повітря

Як об'єкт модернізації було доцільно вибрати Dalmec Partner Equo. Маніпулятор даної серії широко застосовується на території України, а саме в галузях машинобудування, металургійній промисловості, логістичних цетрах, пакувальних лініях та підприємств з обробки матеріалів. В Україну постачання та інтеграція продукції компанії Dalmec здійснюється через промислових представників та інтеграторів.

Маніпулятор працює на основі пневматичного приводу та призначений для переміщення деталей і вантажів з мінімальним навантаженням на оператора. Робота здійснюється за рахунок використання стисненого потіря та балансу механізмів.

Технічні характеристики:

- Максимальна вантажопідйомність: 550 кг
- Максимальний робочий радіус: 4000 мм
- Вертикальний підйом: 2450 мм
- Робочий тиск: 0,7 - 0,8 МПа
- Система керування: виключно пневматична
- Подача: фільтроване стиснене повітря (40 мкм), без змащення
- Рівень шуму: <70 Дб

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Максимальна швидкість вертикального підйому: 0,5 метра/секунду
- Робоча температура: від +0° до +45° С
- Споживання: від 50 Нл - 200 Нл за робочий цикл
- Обертання: – постійні 360° на осі колони та інструменту – 300° на проміжній осі

Робота механізму пневматичної маніпуляторної системи з відновленням стисненого повітря досягається шляхом досягнення циклічного руху актуатора, а також збору та рециркуляції частини відпрацьованого повітря. Основною метою концепції системи є мінімізація втрат енергії, викликаних примусовою еміграцією стисненого повітря в атмосферу в типових пневматичних системах.

Робота системи базується на вимозі генерування необхідного робочого тиску, подачі робочого тиску до актуатора, роботи маніпулятора в цьому робочому циклі та повернення частини відпрацьованого повітря до системи відновлення. На початковому етапі роботи компресор встановлює потік стисненого повітря і подає його в пневматичну лінію.

Повітря проходить через блок підготовки, після чого воно очищається від механічних домішок, видаляє конденсат, і нарешті стабілізуються параметри робочого середовища. Стиснене повітря, яке підготовлено, потрапляє в регулятор тиску. Призначення регулятора полягає в підтримці робочого тиску в системі, коли зміни тиску в лінії викликають зміни і навантаження, яке накладається на актуатори.

Після регулятора повітря потрапляє в електропневматичний розподільник. Цей розподільник працює, спираючись на електричний сигнал, який отримується від системи управління маніпулятором.

Напрямок потоку стисненого повітря змінюється в залежності від положення золотника розподільника.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як тільки сигнал проходить до електромагніту розподільника, стиснене повітря спрямовується в камеру поршня пневмоциліндра. Таким чином, виникає різниця тисків між камерами циліндра, що призводить до руху поршня і висування штока. Рух штока забезпечує виконання необхідної робочої операції маніпулятора. Це може включати захоплення деталі, переміщення вантажу, позиціонування елемента тощо.

Після завершення прямого ходу система управління надсилає сигнал для зміни електропневматичного розподільника. Для цього змінюється положення золотника, і стиснене повітря потрапляє в камеру штока всередині пневмоциліндра. Під тиском поршень змінює положення, рухаючись у протилежному напрямку, і шток повертається в положення. Тепер, в кінці, один цикл роботи завершено.

У звичайних пневматичних застосуваннях, коли інша камера входить, повітря викидається з циліндра в атмосферу через вихлопні канали розподільника. Проте в такій ситуації багато накопиченої енергії витрачається даремно. У встановленій системі використовується модуль відновлення стисненого повітря, щоб позбутися цього обмеження.

Відпрацьоване повітря, після завершення робочого циклу, потрапляє в зворотний клапан через систему трубопроводів. Відкриття в зворотному клапані дозволяє повітрю текти лише в одному напрямку. Він розроблений, щоб запобігти поверненню повітря в пневматичну лінію і збирає рециркульований потік. Повітря потрапляє в пневматичний ресивер після проходження через зворотний клапан. Частина відпрацьованого стисненого повітря осідає в ресивері.

Запас повітря забезпечує резерв для повторного використання в наступних робочих циклах системи. Можливо частково знизити тиск, поки повітря накопичується в ресивері. Використовується підсилювальний регулятор, щоб забезпечити належні умови для робочого стану системи.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Бустерний регулятор допомагає збільшити тиск повітря, яке накопичується, і повітря подається далі в систему. Можливо повторно використовувати відновлене повітря навіть при невеликому зниженні тиску за допомогою підсилювача. Коли досягається рівень тиску, повітря повертається в пневматичну лінію, і повітря роботи може бути використане на наступних етапах циклу маніпулятора. Таким чином, нова система пропонує часткове повернення енергії від відпрацьованого повітря і значно знижує втрати під час роботи пневматичного обладнання. Для подальшого розуміння, як функціонує система, її можна умовно поділити на наступні етапи:

1. стиснення повітря здійснюється компресором;
2. підготовка і очищення повітря;
3. регулювання робочого тиску;
4. подача повітря до електропневматичного розподільника;
5. рух штока пневмоциліндра;
6. завершення робочого циклу;
7. передача відпрацьованого повітря до системи відновлення;
8. накопичення повітря в пневматичному ресивері;
9. підвищення тиску, викликане підсилювальним регулятором;
10. повторне використання відновленого повітря.

Схема здатна використовувати менше стисненого повітря і підвищити ефективність системи, зменшити навантаження на компресор і покращити ефективність роботи пневматичного маніпулятора.

2.3. Визначення вихідних параметрів та розрахунок пневматичної системи маніпулятора

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

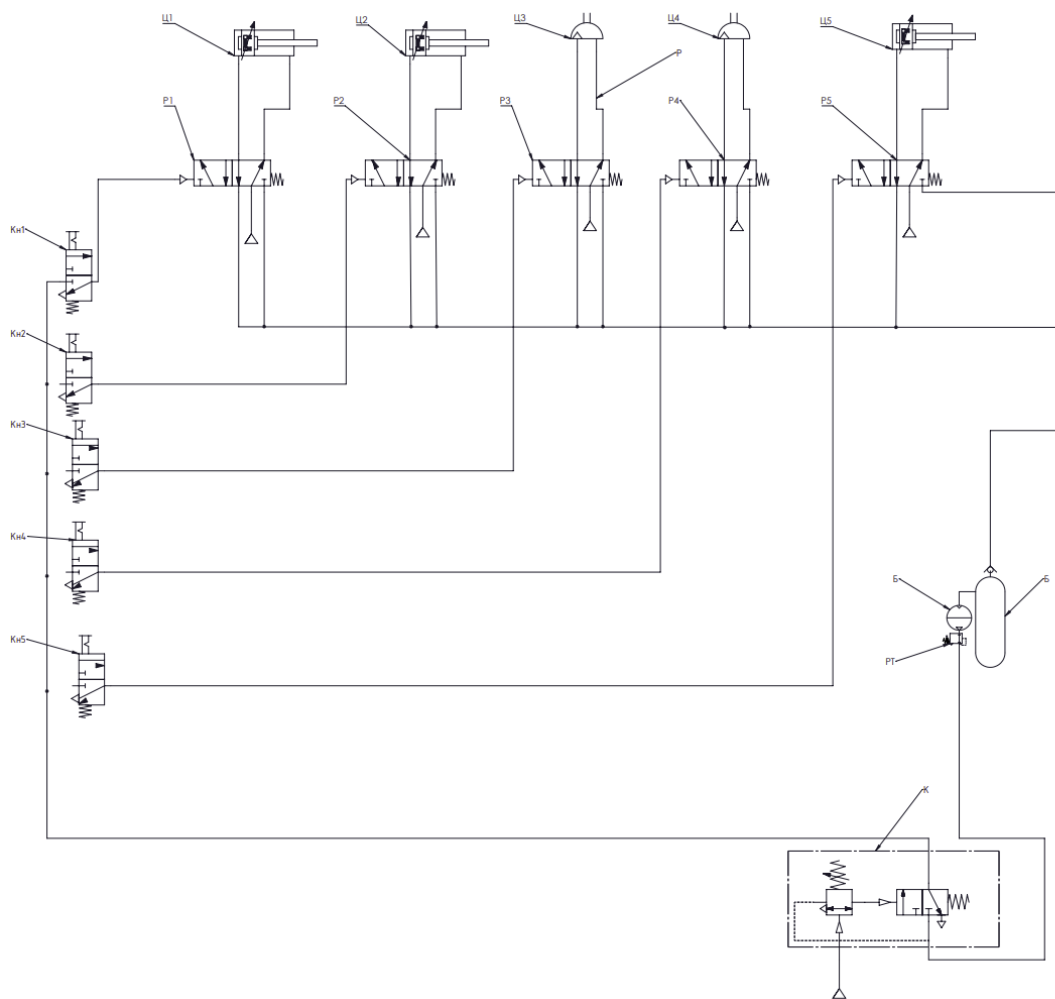


Рис.2.2. Пневматична схема маніпулятора Dalmec Partner Equo з модулем рекуперації

Для проведення подальших розрахунків необхідно визначити вихідні параметри пневматичної чистеми та основні характеристики обраного маніпулятора. Як об'єкт модернізації прийнято промисловий пневматичний маніпулятор Dalmec Partner Equo, який працює на стисненому повітрі та використовується у виробничих системах із циклічним режимом роботи. Вибір даного маніпулятора обумовлений можливістю встановлення модуля рекуперації та значним споживанням стисненого повітря.

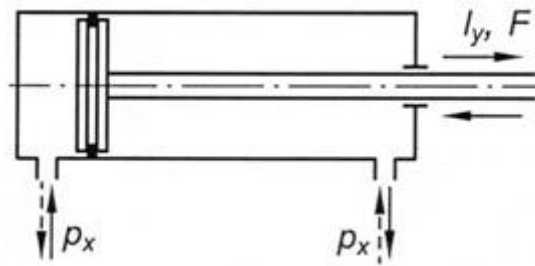
Для подальших розрахунків приймаємо такі вихідні параметри:

- Вантажопідйомність: 150кг
- Максимальна вантажопідйомність: 550 кг

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Робочий тиск: 0,7 - 0,8 МПа
- Вертикальний хід: 1800 мм
- Швидкість переміщення: 0.5 м/с
- Середню споживання: 120 Нл за робочий цикл
- Коефіцієнт запасу: 1.3
- Кількість робочих циклів: 10 цикл/хв

Під час роботи маніпулятора значна частина стисненого повітря після завершення циклу викидається в атмосферу. Це створює додаткове навантаження на компресорне обладнання та призводить до збільшення витрат. Запропонований модуль рекуперації дозволяє накопичувати частину відпрацьованого повітря та використовувати його повторно.



Розрахункова схема пневмоциліндру

Для визначення параметрів системи виконаємо розрахунок необхідного зусилля приводу[18].

Зусилля визначається за формулою (2.3.1)

$$F = m \cdot g \cdot k$$

де: m — маса вантажу, кг; g — прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; k — коефіцієнт запасу.

Підставимо значення:

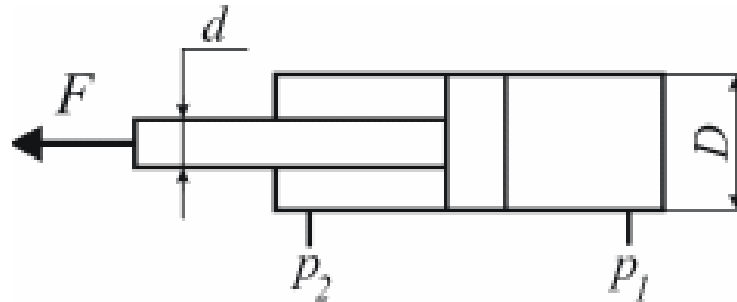
$$F = 150 \cdot 9,81 \cdot 1,3 = 1912,95 \text{ Н}$$

Приймаємо: $F \approx 2000 \text{ Н}$

Отримане значення сили використовується для подальшого визначення площі поршня та параметрів виконавчого механізму.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Розрахунок площі поршня та діаметра пневмоциліндра



Площа поршня за формулою (2.3.2):

$$A = \frac{F}{P}$$

де: $F = 2000$ Н з формули [2.3.1], $P = 0,8$ МПа.

$$A = \frac{2000}{800000} = 0,0025 \text{ м}^2$$

Діаметр:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = 56,4 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний:

$$D = 63 \text{ мм}$$

Для забезпечення запасу міцності та відповідності стандартному ряду пневмоциліндрів.

2.5. Розрахунок витрати повітря пневматичного маніпулятора

Для визначення витрати повітря необхідно розрахувати об'єм порожнин пневмоциліндра[19].

Приймаємо:

- діаметр поршня: $D = 63 \text{ мм} = 0,063 \text{ м}$ з формули (2.3.2);
- діаметр штока: $d = 20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м}$;
- хід штока: $L = 1800 \text{ мм} = 1,8 \text{ м}$;
- робочий тиск: $P = 0,8 \text{ МПа} = 8 \text{ бар}$;

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- абсолютний тиск: $P_{абс} = 8 + 1 = 9$ бар.

Площа поршня визначається за формулою (2.5.3):

$$A_1 = 4\pi D^2 \quad (2.5.3)$$

$$A_1 = 43,14 \cdot 0,0632 = 0,0031 \text{ м}^2$$

Об'єм поршневої порожнини визначається за формулою (2.3.4):

$$V_1 = A_1 \cdot L \quad (2.5.4)$$

$$V_1 = 0,0031 \cdot 1,8 = 0,00558 \text{ м}^3$$

$$V_1 = 5,58 \text{ л}$$

Витрата повітря на прямий хід у нормальних літрах визначається за формулою [2.5.5]:

$$Q_1 = V_1 \cdot P_{абс} \quad (2.5.5)$$

$$Q_1 = 5,58 \cdot 9 = 50,22 \text{ Нл}$$

Площа штока визначається за формулою (2.3.6):

$$A_{шт} = 4\pi d^2 \quad (2.5.6)$$

$$A_{шт} = 43,14 \cdot 0,022 = 0,000314 \text{ м}^2$$

Площа штокової порожнини визначається за формулою (2.5.7):

$$A_2 = A_1 - A_{шт} \quad (2.5.7)$$

$$A_2 = 0,0031 - 0,000314 = 0,00279 \text{ м}^2$$

Об'єм штокової порожнини визначається за формулою (2.5.8) :

$$V_2 = A_2 \cdot L \quad (2.5.8)$$

$$V_2 = 0,00279 \cdot 1,8 = 0,00502 \text{ м}^3$$

Витрата повітря на зворотний хід визначається за формулою (2.5.9):

$$Q_2 = V_2 \cdot P_{абс} \quad (2.5.9)$$

$$Q_2 = 5,02 \cdot 9 = 45,18 \text{ Нл(нормальні літри)}$$

Загальна витрата повітря за один повний цикл визначається за формулою (2.5.10):

$$Q_{ц} = Q_1 + Q_2 \quad (2.5.10)$$

$$Q_{ц} = 50,22 + 45,18 = 95,4 \text{ Нл/цикл}$$

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З урахуванням втрат у трубопроводах, розподільниках та з'єднаннях приймаємо коефіцієнт запасу 1,2:

$$Q_{\text{ц. розр}} = 95,4 \cdot 1,2 = 114,48 \text{ Нл/цикл}$$

Приймаємо:

$$Q_{\text{ц. розр}} = 115 \text{ Нл/цикл}$$

Отже, орієнтовна витрата повітря пневматичного маніпулятора становить 115 Нл за один робочий цикл.

2.6. Розрахунок хвилинної витрати повітря

Для оцінки продуктивності системи приймаємо кількість робочих циклів маніпулятора:

$$n = 10 \text{ цикл/хв}$$

Хвилинна витрата повітря визначається:

$$Q_{\text{хв}} = Q_{\text{ц. розр}} \cdot n$$

$$Q_{\text{хв}} = 115 \cdot 10 = 1150 \text{ Нл/хв}$$

Отже, при роботі з частотою 10 циклів за хвилину пневматична система маніпулятора споживає приблизно:

$$Q_{\text{хв}} = 1150 \text{ Нл/хв}$$

Це значення має для розрахунку модуля рекуперації та визначення об'єму ресивера.

2.7. Обчислення ємності рекупераційного ресивера

Для накопичування частини відпрацьованого повітря в системі рекуперації використовуються пневморесивери. Його об'єм повинен забезпечувати після робочих циклів маніпулятора приймати оброблене повітря і підтримувати тиск, необхідний для системи[19].

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З попереднього розрахунку маємо:

$$Q_{\text{ц. розр}} = 115 \text{ Нл/цикл}$$

Приймаємо коефіцієнт рекуперації, який буде становити:

$$\eta_p = 0,3$$

Тобто система здатна відновлювати близько 30% від загальної витрати повітря.

Кількість повітря, що повертається за один цикл визначається за формулою (2.7.1):

$$Q_r = Q_{\text{ц. розр}} \times \eta_p \quad (2.7.1)$$

$$Q_r = 115 \times 0,3$$

$$Q_r = 34,5 \text{ Нл/цикл}$$

Приймаєм:

$$Q_r = 35 \text{ Нл/цикл}$$

Якщо система працює з частотою:

$$n = 10 \text{ цикл/хв}$$

Тоді кількість рекуперованого повітря за хвилину визначається за формулою (2.7.2):

$$Q_{r. \text{хв}} = Q_r \times n \quad (2.7.2)$$

$$Q_{r. \text{хв}} = 35 \times 10$$

$$Q_{r. \text{хв}} = 350 \text{ Нл/хв}$$

Отже, система рекуперації може накопичувати приблизно:

$$Q_{r. \text{хв}} = 350 \text{ Нл/хв}$$

Для визначення корисного запасу повітря у ресивері використовується залежність визначається за формулою (2.7.3):

$$Q_{\text{рес}} = V_{\text{рес}} \times (P_1 - P_2) \quad (2.7.3)$$

де: $V_{\text{рес}}$ — об'єм ресивера, л; P_1 — максимальний тиск у ресивері, бар;
 P_2 — мінімальний допустимий тиск у ресивері, бар.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо:

$$P_1 = 8 \text{ бар}$$

$$P_2 = 6 \text{ бар}$$

Попередньо приймаємо ресивер об'ємом:

$$V_{\text{рес}} = 50 \text{ л}$$

Тоді корисний запас повітря:

$$Q_{\text{рес}} = 50 \times (8 - 6)$$

$$Q_{\text{рес}} = 50 \times 2$$

$$Q_{\text{рес}} = 100 \text{ Нл}$$

Отже, ресивер об'ємом 50 л при роботі в діапазоні тисків 6–8 бар може накопичити приблизно:

$$Q_{\text{рес}} = 100 \text{ Нл}$$

Кількість робочих циклів, яку може забезпечити накопичене рекупероване повітря:

$$N = Q_{\text{рес}} / Q_r$$

$$N = 100 / 35$$

$$N = 2,85 \text{ циклу}$$

Приймаємо:

$$N \approx 3 \text{ цикли}$$

Таким чином, пневморесивер об'ємом 50 л забезпечує накопичення рекуперованого повітря за-три цикли роботи маніпулятора.

Висновок

На основі розрахунку можна повернути 35 нл стисненого повітря за один цикл при витраті 115 Нл/цикл із коефіцієнтом відновлення 30%. При використанні ресивера об'ємом 50 л при тиску 6–8 бар його корисний запас становитиме приблизно 100 Нл. Це дозволяє накопичувати повітря приблизно за три цикли роботи маніпулятора.

Тому для рекуперативної системи вибирають пневмоприймач об'єму:

$$V_{\text{рес}} = 50 \text{ л.}$$

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок товщини стінки пневматичного резервуара

Для системи рекуперації вибрано пневматичний резервуар об'ємом 50 літрів. Оскільки цей резервуар експлуатується під тиском, потрібно провести розрахунок товщини його стінки для підтвердження безпеки конструкції. Вхідні дані наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1

Параметр	Значення
Об'єм ресивера	50 л
Робочий тиск	10 бар
Робочий тиск у МПа	1 МПа
Діаметр ресивера	320 мм
Матеріал	сталь Ст3
Допустиме напруження	120 МПа

Товщина стінки циліндричної частини ресивера визначається за формулою[20] (2.7.4):

$$s = (P \times D) / (2 \times \sigma) \quad (2.7.4)$$

де: s — товщина стінки, мм; P — робочий тиск, МПа; D — внутрішній діаметр ресивера, мм; σ — допустиме напруження матеріалу, МПа.

Підставляємо значення:

$$s = (1 \times 320) / (2 \times 120)$$

$$s = 320 / 240$$

$$s = 1,33 \text{ мм}$$

Розрахункова товщина стінки становить:

$$s = 1,33 \text{ мм}$$

Проте отримане значення слід вважати теоретичним. У практичній конструкції потрібно врахувати такі чинники:

- наявність зварних швів;
- циклічні навантаження;

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ризик корозії;
- технологічні неточності під час виготовлення;
- вимоги до безпечного використання посудин під тиском.

Отже, розраховується більша товщина.

$$s_{пр} = 4 \text{ мм}$$

Вибрана товщина стінки гарантує достатній запас міцності та ефективну експлуатацію ресивера при робочому тиску у 10 бар.

Розрахунок маси корпусу ресивера

Щоб оцінити навантаження на опори, потрібно встановити приблизну масу корпусу ресивера.

Приймаємо:

$$D = 320 \text{ мм} = 0,32 \text{ м}$$

$$L = 850 \text{ мм} = 0,85 \text{ м}$$

$$s = 4 \text{ мм} = 0,004 \text{ м}$$

$$\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$$

Площа бічної поверхні циліндра визначається за формулою (2.7.5):

$$S_{ц} = \pi \times D \times L$$

(2.7.5)

$$S_{ц} = 3,14 \times 0,32 \times 0,85$$

$$S_{ц} = 0,854 \text{ м}^2$$

Об'єм металу циліндричної частини визначається за формулою (2.7.6):

$$V_{м} = S_{ц} \times s$$

(2.7.6)

$$V_{м} = 0,854 \times 0,004$$

$$V_{м} = 0,00342 \text{ м}^3$$

Маса циліндричної частини визначається за формулою (2.7.7):

$$m_{ц} = V_{м} \times \rho \quad (2.7.7)$$

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_{ц} = 0,00342 \times 7850$$

$$m_{ц} = 26,8 \text{ кг}$$

З урахуванням днищ, патрубків, опор та зварних елементів приймаємо запас 25%:

$$m_{рес} = 26,8 \times 1,25$$

$$m_{рес} = 33,5 \text{ кг}$$

Приймаємо:

$$m_{рес} = 35 \text{ кг}$$

Таким чином, орієнтовна вага ресивера становить 35 кг.

Після заповнення стисненим повітрям додаткова маса є мінімальною, тому для розрахунків опор ми вважаємо загальну вагу ресивера:

$$m = 35 \text{ кг.}$$

Розрахунок опор ресивера

Для монтажу пневморесивера об'ємом 50 літрів використовуються чотири рамні опори. Ці опори необхідні для підтримки ресивера в горизонтальному положенні та передачі ваги ресивера на підставу. Вихідні дані наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2

Параметр	Значення
Маса ресивера	35 кг
Кількість опор	4 шт.
Матеріал опор	Сталь 3
Товщина попори	4мм
Висота опори	124 мм
Ширина опори	70 мм
Довжина основи	52,14 мм
Коефіцієнт запасу	2

		Поліщук А.Р.			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С.				50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сила ваги ресивера визначається за формулою (2.7.8):

$$\begin{aligned} F &= m \times g \\ F &= 35 \times 9,81 \\ F &= 343,35 \text{ Н} \end{aligned} \quad (2.7.8)$$

Приймаємо: $F = 350 \text{ Н}$

Оскільки ресивер встановлюється на дві опори, навантаження на одну опору визначається за формулою (2.7.9):

$$\begin{aligned} F_{\text{оп}} &= F / 2 \\ F_{\text{оп}} &= 350 / 2 \\ F_{\text{оп}} &= 175 \text{ Н} \end{aligned} \quad (2.7.9)$$

З урахуванням коефіцієнта запасу визначається за формулою (2.7.10):

$$\begin{aligned} F_{\text{розр}} &= F_{\text{оп}} \times k \\ F_{\text{розр}} &= 175 \times 2 \\ F_{\text{розр}} &= 350 \text{ Н} \end{aligned} \quad (2.7.10)$$

Отже, одна опора має витримувати 350Н.

Площа поперечного перерізу однієї стінки опори визначається за формулою (2.7.11):

$$\begin{aligned} A &= b \times s \\ A &= 70 \times 4 \\ A &= 280 \text{ мм}^2 \end{aligned} \quad (2.7.11)$$

У конструкції опори навантаження сприймають дві бокові стінки, тому сумарна площа:

$$\begin{aligned} A_{\Sigma} &= 2 \times 280 \\ A_{\Sigma} &= 560 \text{ мм}^2 \end{aligned}$$

Напруження стиску в опорі визначається за формулою (2.7.12):

$$\begin{aligned} \sigma &= F_{\text{розр}} / A_{\Sigma} \\ \sigma &= 350 / 560 \\ \sigma &= 0,625 \text{ Н/мм}^2 \end{aligned} \quad (2.7.12)$$

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки:

$$1 \text{ Н/мм}^2 = 1 \text{ МПа}$$

то:

$$\sigma = 0,625 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження для сталі Ст3 приймаємо:

$$[\sigma] = 120 \text{ МПа}$$

Перевірка міцності:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

$$0,625 \text{ МПа} \leq 120 \text{ МПа}$$

Умова міцності дотримується.

Таким чином, обрана конструкція опори зі сталі Ст3 завтовшки 4 мм забезпечує необхідний запас міцності для монтажу пневморесивера.

2.8. Розрахунок бустерного регулятора

У системі рекуперації стисненого повітря бустерний регулятор слугує для підвищення тиску повітря, накопиченого в ресивері. Це важливо, оскільки після того, як повітря виходить з пневмоциліндра, його тиск нерідко знижується і не завжди може бути використаний відразу для наступних робочих процесів[20]. Вхідні дані наведені в таблиці 2.3

Таблиця 2.3

Параметр	Значення
Тиск рекуперованого повітря	4 бар
Необхідний робочий тиск	8 бар
Коефіцієнт підсилення	2
Діаметр великого поршня	80 мм
Діаметр малого поршня	56 мм

Коефіцієнт підсилення визначається за формулою (2.8.1):

$$i = P2 / P1 \quad (2.8.1)$$

$$i = 8 / 4$$

$$i = 2$$

Отже, бустер повинен підвищувати тиск приблизно у 2 рази.

Коефіцієнт підсилення також можна визначити через співвідношення площ поршнів визначається за формулою (2.8.2):

$$i = A1 / A2 \quad (2.8.2)$$

Оскільки площа поршня залежить від квадрата діаметра, можна записати визначається за формулою (2.8.3):

$$i = D1^2 / D2^2 \quad (2.8.3)$$

Підставляємо прийняті діаметри:

$$i = 80^2 / 56^2$$

$$i = 6400 / 3136$$

$$i = 2,04$$

Отже, фактичний коефіцієнт підсилення становить:

$$i = 2,04$$

Тоді вихідний тиск бустера визначається за формулою (2.8.4):

$$P2 = P1 \times i \quad (2.8.4)$$

$$P2 = 4 \times 2,04$$

$$P2 = 8,16 \text{ бар}$$

Отже, при тиску рекуперованого повітря в 4 бар бустерний регулятор з поршнями діаметром 80 мм і 56 мм встановлює вихідний тиск приблизно на рівні 8,16 бар.

Розрахунок економії повітря визначається за формулою (2.8.5)

$$Q_{ек} = Q_{ц} \times \eta_p$$

(2.8.5)

$$Q_{ек} = 115 \times 0,3$$

$$Q_{ек} = 34,5 \text{ Нл/цикл}$$

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Економія за хвилину:

$$Q_{\text{ек. хв}} = 34,5 \times 10$$

$$Q_{\text{ек. хв}} = 345 \text{ Нл/хв}$$

2.9. Підбір обладнання

Підбір обладнання виконується на основі попередніх розрахунків. Для системи прийнято: Витрата повітря маніпулятора-115Нл/цикл, орієнтовна кількість рекуперативного повітря-350 Нл/хв, робочий тиск системи- 8бар, об'єм ресивера -50л.

Таблиця 2.4

Елемент	Обране обладнання
Бустерний регулятор	Camozzi BPA-063-R1
Регулятор тиску	Camozzi N1208-R00
Зворотний клапан	Camozzi VHR238-3/8
Манометр	HansaFlex GMM63-10
Запобіжний клапан	Camozzi MC238-V36
Кран	HansaFlex BKR25HRND

Вибір компонентів пневматичної системи за робочим тиском, споживанням повітря, умовами використання, сумісністю компонентів один з одним та економічною доцільністю. Для реалізації системи було обрано обладнання компаній Camozzi та HansaFlex, яке відоме своєю надійністю та широко застосовується в промислових пневматичних системах.

Бустерний регулятор Camozzi BPA-063-R1[14]

Бустерний регулятор використовується для підвищення тиску стисненого повітря без використання додаткових компресорних систем. Модель BPA-063-R1 обрана завдяки своїй достатній потужності, малим габаритам та стабільній роботі при коливальному навантаженні. Крім того,

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Camozzi дешевший, ніж аналогічні рішення від Festo та SMC, незважаючи на схожі параметри.

Регулятор тиску Camozzi N1208-R00[14]

Він дозволяє підтримувати постійний тиск у системі незалежно від коливань вхідного сигналу. Його використання дозволяє стабілізувати роботу системи та зменшити навантаження на інші елементи. Регулятор має достатню потужність і є високоточним.

Зворотний клапан Camozzi VHR238-3/8[14]

Клапан використовується для забезпечення потоку повітря лише в одному напрямку та запобігання зворотному витоку. Обрана модель має низькі втрати тиску, швидкодію та високу герметичність, необхідну в системах відновлення.

Манометр HansaFlex GMM63-10[13]

Манометр використовується для контролю робочого тиску системи. Діапазон вимірювання до 10 бар був обраний через розрахунковий тиск системи, щоб забезпечити роботу в оптимальному діапазоні шкали та підвищити точність вимірювань. Діаметр корпусу 63 мм забезпечує легкий візуальний контроль.

Запобіжний клапан Camozzi MC238-V36[14]

Запобіжний клапан встановлено для захисту системи від надмірного тиску. У разі виникнення несправності клапан автоматично відкривається та скидає тиск, щоб запобігти пошкодженню приладу.

Кран HansaFlex BKR25HRND[13]

Кран використовується для скидання конденсату який буде осідати в ресивері.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Сучасне машинобудування відіграє важливу роль у розвитку промисловості та суспільства в різних галузях промисловості.

У розділі дипломної роботи були розглянуті технологічні аспекти проектування та виробництва механічних деталей, компонентів та систем. Для виготовлення будь-якої деталі необхідно додаватися певного

Алгоритм дій - це план, який вказує, як потрібно діяти. Технологічний процес - це ряд кроків, які забезпечують виконання певної роботи. Досягнення цілей у виробництві деталей. Він описує всі етапи виробничого процесу.

Процес включає всі етапи: від розробки та проектування деталі до її виготовлення та контролю якості та пакування.

Завданням інженера-технолога є:

- Попереднє планування та аналіз технологічної можливості виготовлення деталі;
- Розробка робочих інструкцій та технічної документації;
- Оптимізація виробничого процесу, щоб зменшити витрати і скоротити час;
- Постійне спостереження та вивчення виробничих даних для запобігання можливим проблемам;
- Співпраця з іншими відділами, наприклад, з конструкторським бюро закупівля та логістика.

Все це потрібно, щоб організувати якісне серійне виробництво.

3.1. Технологічний контроль якості креслення

Технологічний контроль якості креслення є важливою складовою частина процесу створення деталі. Креслення є головним документом, на якому базується все основою якого є початок виробничого процесу, при цьому важливо впевнитися у його якості та відповідності вимогам.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей процес включає перевірку повноти і наявності необхідних даних:

- Важливо переконатися, що креслення має всі потрібні вигляди деталі та розміри, перерізи та інші необхідні деталі, які дають повне уявлення про будову деталі. Креслення потрібно перевірити відповідно до ДСТУ 14.206-73;
- Забезпечити шорсткість всіх поверхонь деталі відповідно до ДСТУ 2789-73;
- Допуски та відхилення розмірів повинні відповідати вимогам, які встановлені ДСТУ 25346-89 та ДСТУ 25347-82.

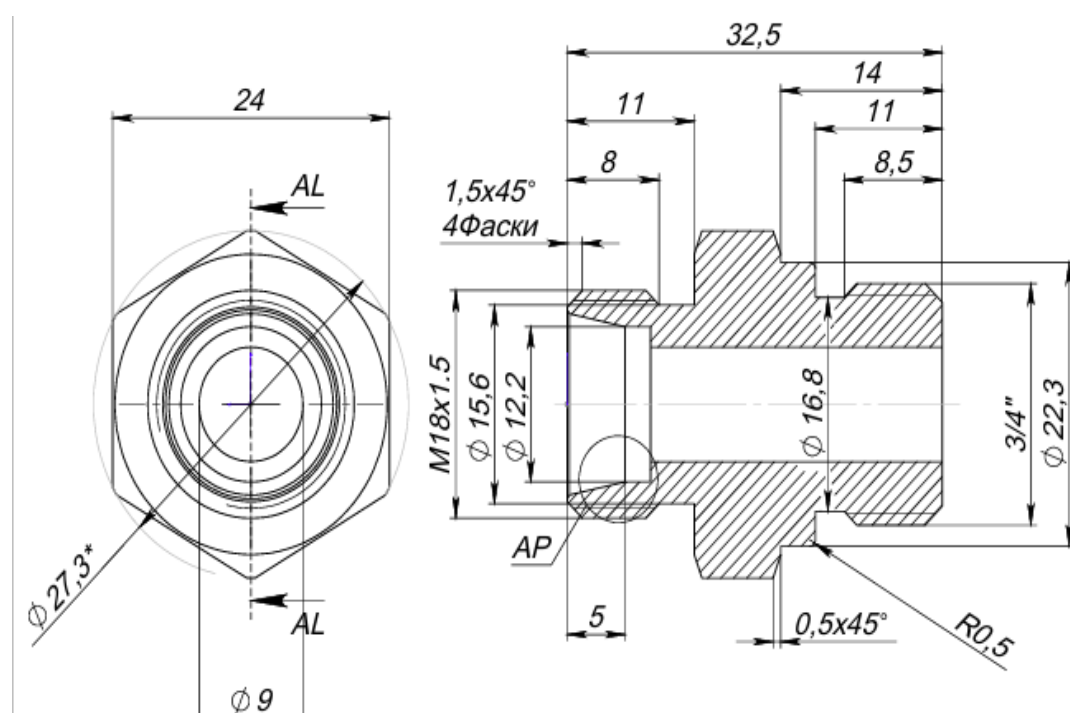


Рис. 3.1. Креслення деталі “З’єднання”

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Завдання на розробку технологічного процесу

Назва деталі	-	«З'єднання»
Службове призначення	-	Деталь є перехідним елементом від ресиверу до головної пневмосистеми маніпулятора для рекуперації тиску в контурі системи.
Матеріал	-	Нержавіючий сплав AISI304

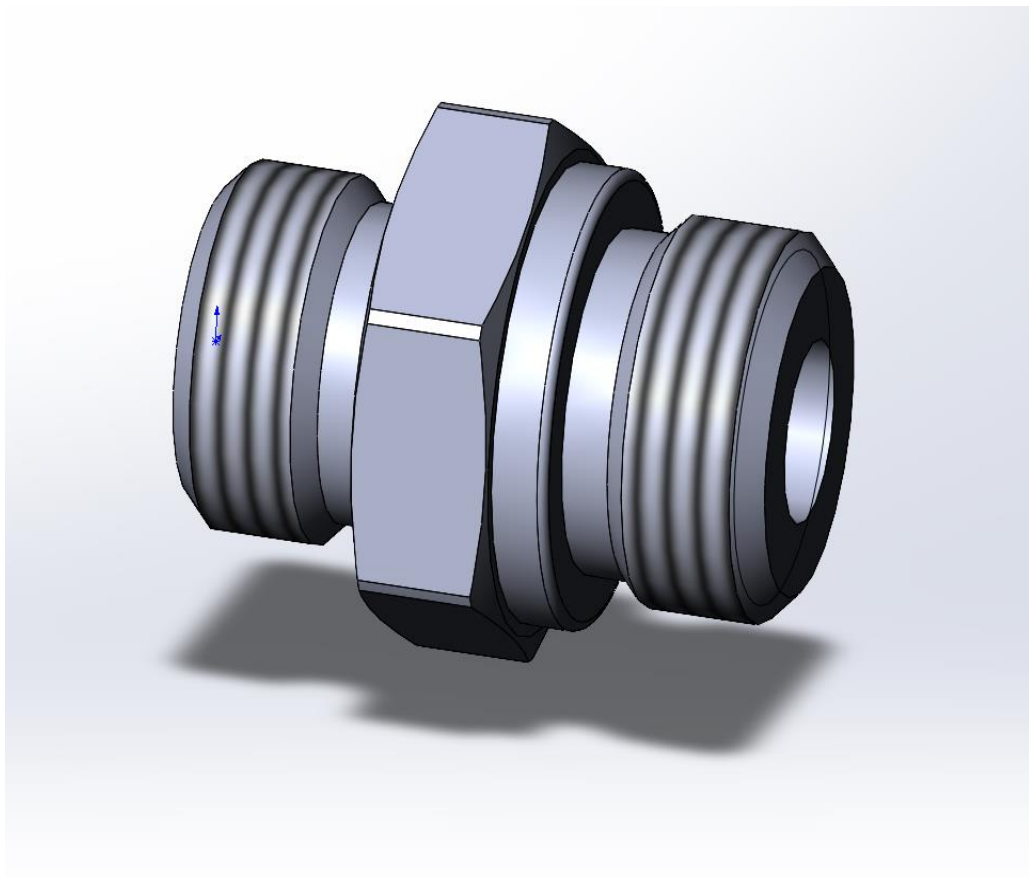


Рис.3.2. Ескіз деталі «З'єднання»

При обробці даної деталі необхідно забезпечити симетричність різьбових отворів розташованих на коробці виводів, а також позиційний допуск усіх приєднувальних різьбових отворів.

		Поліщук А.Р.			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С.				58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальну шорсткість деталі Ra2.5 мкм. Найточніші розміри даної деталі Ø15H8, центральний отвір виконаний по H9, всі інші поверхні обробляються по 12 квалітету

3.3. Вибір заготовки

При виборі методу отримання заготовки в першу чергу враховують матеріал деталі, тип виробництва, якість поверхонь заготовки та її точність, а також можливості наявного обладнання. В нашому випадку найдоцільнішим є метод отримання заготовки литтям в кокіль.

Призначення припусків виконується табличним методом [1-4].

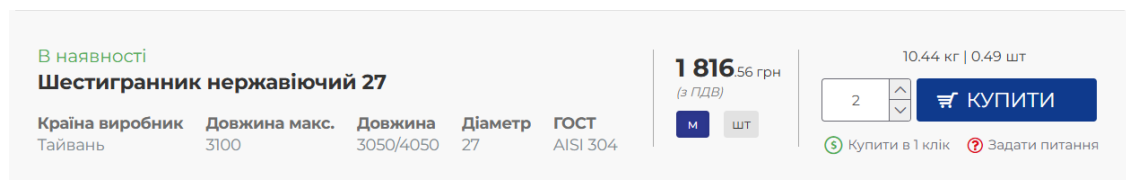


Рис. 3.3 - Заготовка деталі «З'єднання»

3.4.. Розробка маршрутного технологічного процесу

Конструкцію деталі можна розділити на сукупність типових геометричних фігур, які об'єднані загальним службовим призначенням деталі. Типовими елементами конструкції є: циліндричні внутрішні поверхні та сукупність площин. Практикою машинобудівного виробництва накопичено виробничий досвід технологічних послідовностей оброблення типових поверхонь для забезпечення заданої точності розмірів і параметрів шорсткості робочих поверхонь [1-4].

Для опису маршруту оброблення деталі необхідно ідентифікувати поверхні (рис.3.4).

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

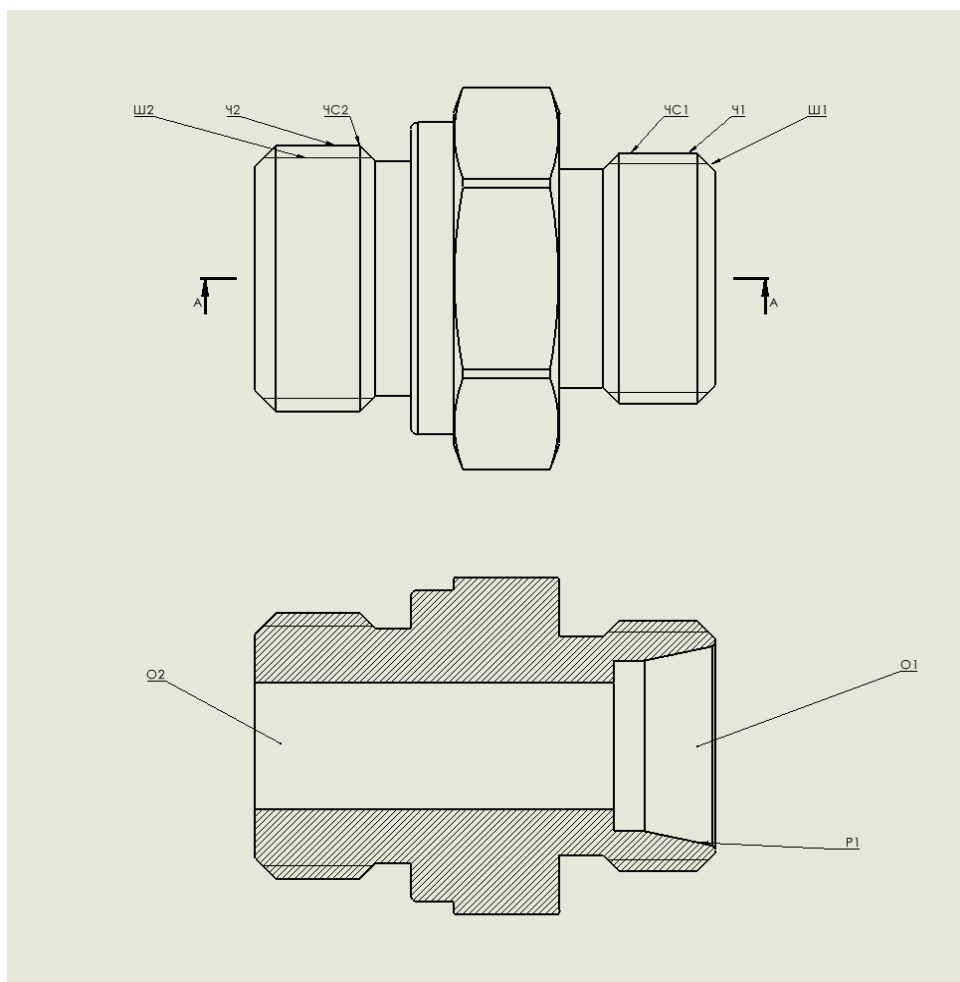


Рис.3.4. Нумерація поверхонь деталі

Таблиця 3.1

Типові технологічні послідовності оброблення поверхонь деталі

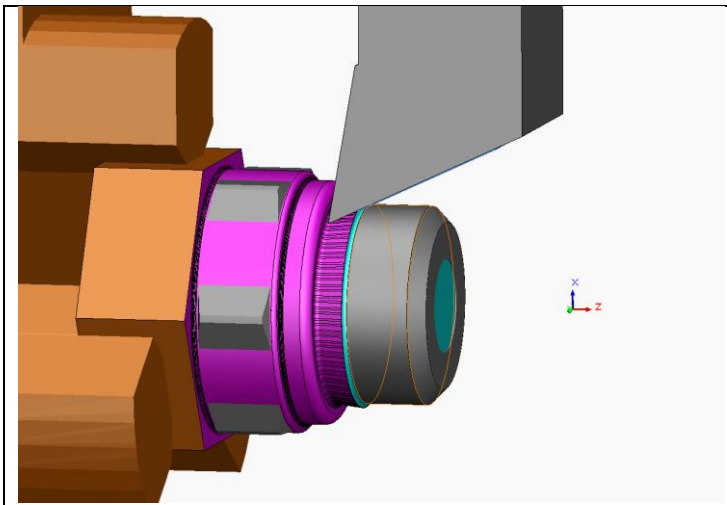
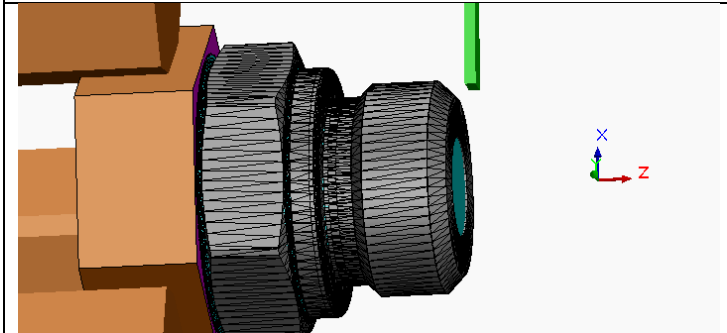
Назва поверхні	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Типова послідовність технологічна оброблення поверхні	Характеристики якості поверхонь після оброблення	
	Точність розмірів ІТ	Параметр шорсткості Ra, мкм		Точність розмірів ІТ	Час, с
Ч1	12	12,5	Точіння чорнове	12	15
Ч2	12	12,5	Точіння чорнове	12	15
ЧС1	12	6,3	Точіння чистове	12	15
ЧС2	12	6,3	Точіння чистове	12	15

Продовження таблиці 3.1

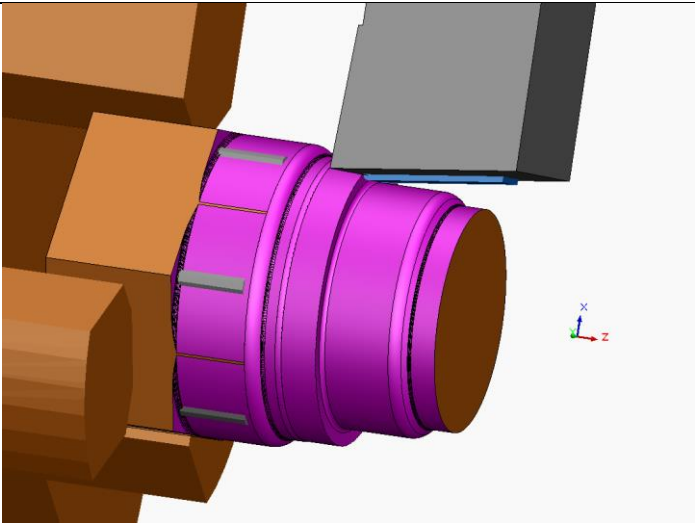
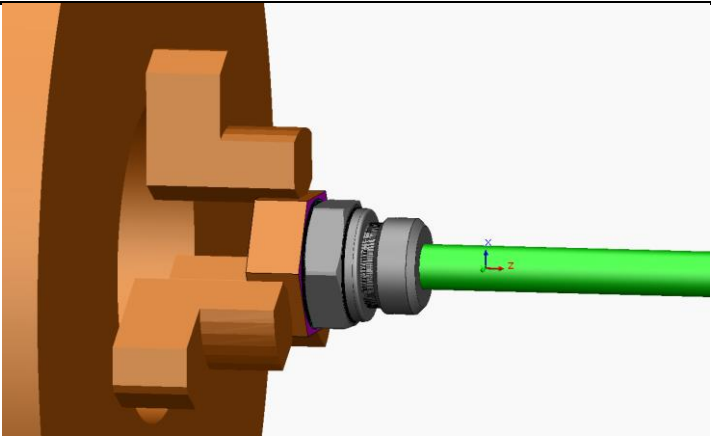
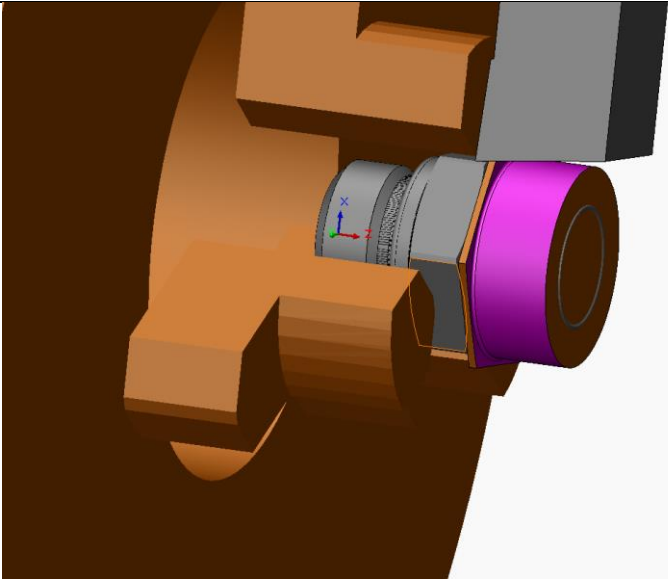
Ш1	12	6,3	Точіння різьбове М18х1.5	12	8.9
Ш2	12	6,3	Точіння різьбове 3/4	12	16.5
О1	12	6,3	Центрування, свердління	12	12,5
О2	12	6,3	Центрування, свердління	12	24.8
Р1	12	6,3	Розточка конуса	12	12,5
Перехват деталі		Оператор перехватує деталь в патрон після її відрізання з шестигранника			

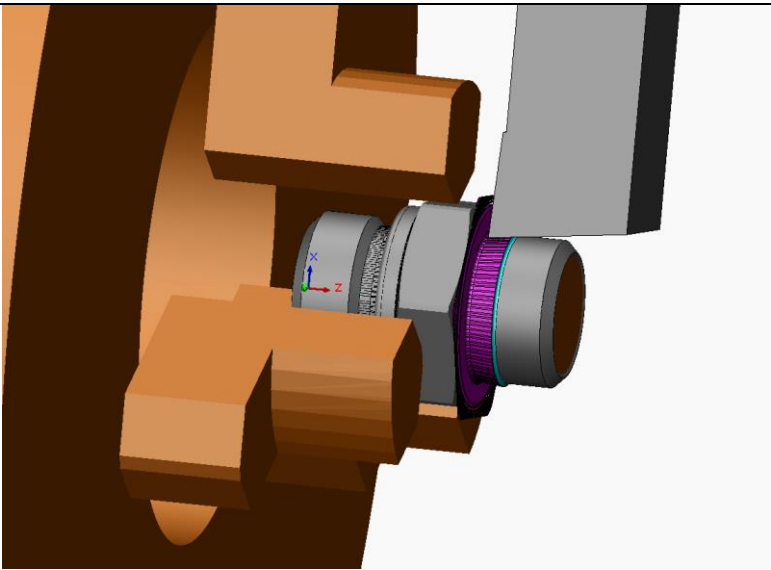
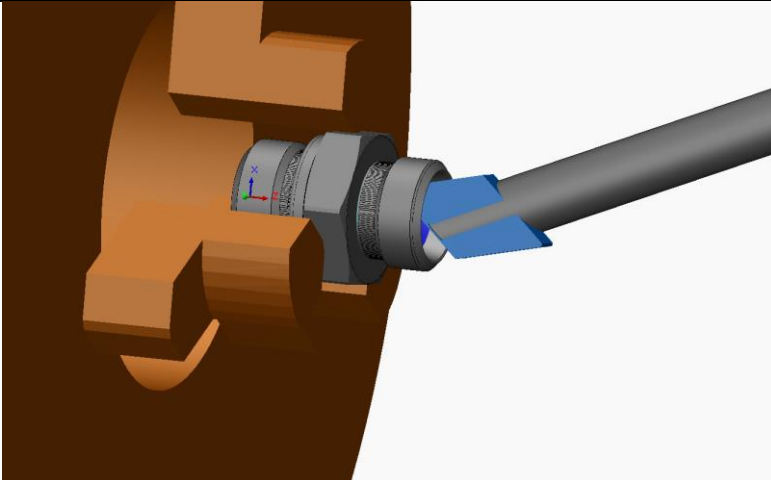
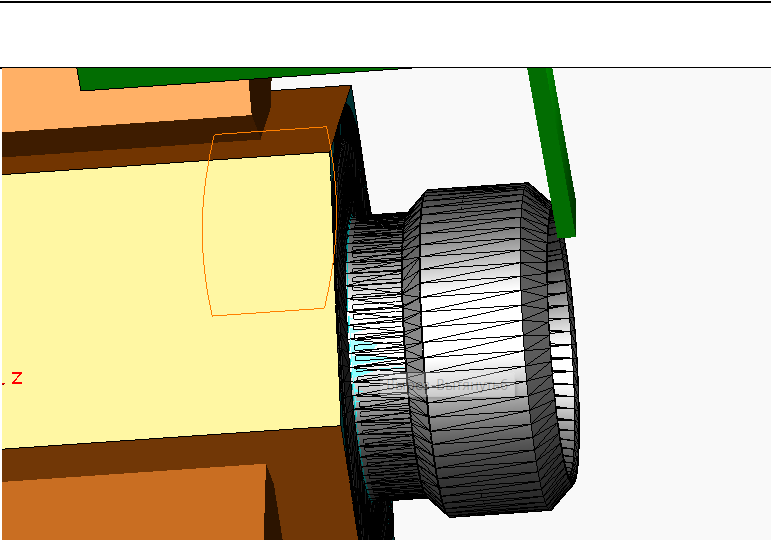
Обробка деталі виконується виключно на ЧПК верстаті Gildemeister TWIN 42. В таблиці 3.2 наведено етапи обробки деталі.

Таблиця 3.2

	Чистова обробка
	Нарізання різьби

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

	Перша чорнова обробка
	Свердління
	Чорнова обробка

	Чистова обробка
	Розточка фасок
	Нарізання різьби

3.5. Вибір різального інструменту. Розрахунок режимів різання

Вибір правильного інструменту для виготовлення деталі є вирішальним кроком у технологічному процесі. Щоб вибрати відповідний інструмент, доцільно дотримуватися таких критеріїв:

- Використовувати набір інструментів, який підходить для обробки матеріалу. Різні матеріали вимагають спеціалізованого обладнання;
- Необхідно визначити всі типи технологічних операцій, що беруть участь у виробництві деталі;
- Оцінити необхідну точність та якість обробки деталі. Деякі параметри вимагають вищої точності та гладкості поверхні, ніж інші.

Далі ми розглянемо різучий інструмент, який використовується для виготовлення зазначеної деталі. Інструменти постачаються з каталогів як вітчизняних, так і іноземних виробників. Бажано мати постачальників в Україні для можливості швидкої доставки інструменту у разі виробничих потреб.

Інструменти для обробки будуть закуповуватись у дистриб'ютора — ТОВ «Maktrans», що постачає продукцію фірми KOVES.

Для виконання токарних операцій передбачається використання наступного різального інструменту:

- Для чорнової обробки застосовується пластина **WNMG080408-H1**, яка забезпечує високу продуктивність зняття припуску та стійкість при великих навантаженнях.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

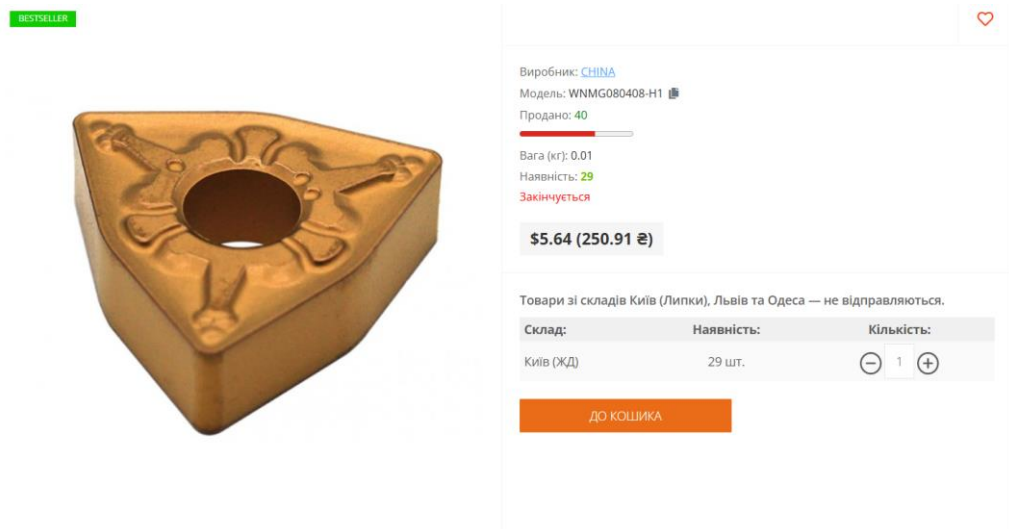


Рис.3.6. Різальний інструмент WNMG080408-H1

- Для чистової обробки використовується пластина **VNMG160404-MA**, що дозволяє отримати підвищену точність і якість обробленої поверхні.

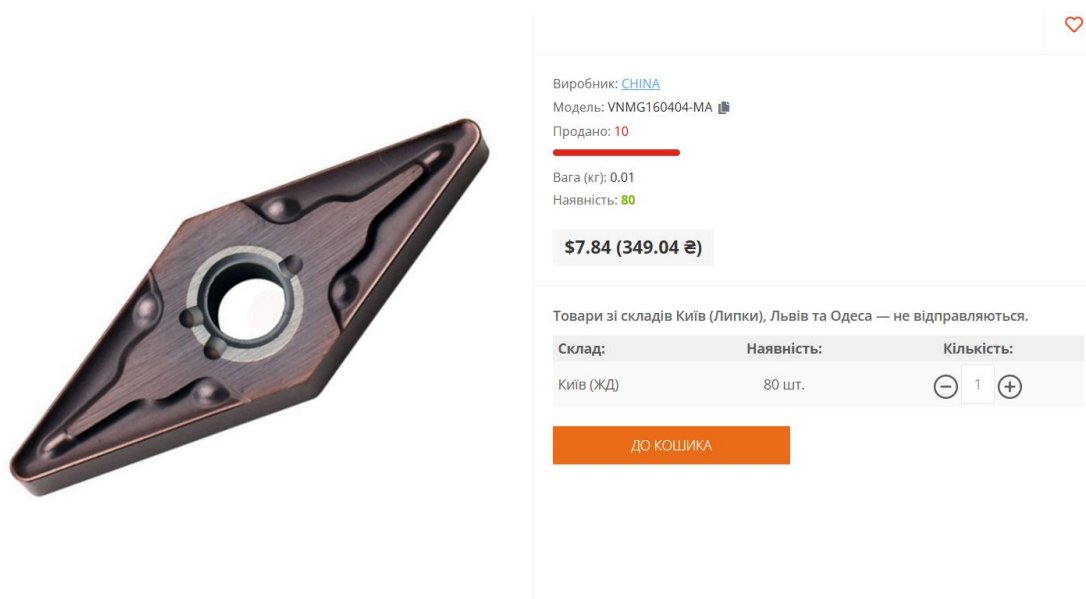
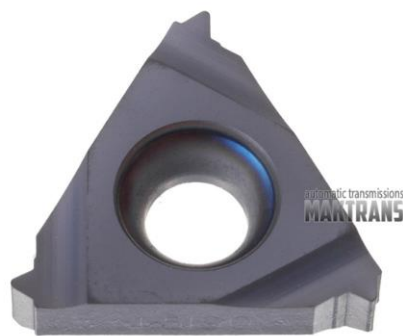


Рис. 3.7. Різальний інструмент VNMG160404-MA

- Для нарізання трубної різьби **3/4 BSP/G** застосовується різьбовий інструмент **16ER150ISOKTX**.



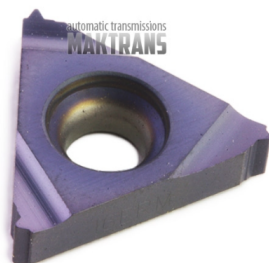
Виробник: [KOVES](#)
 Модель: 16ER150ISOKTX
 Вага (кг): 0.01
 Наявність: Немає в наявності

\$7.88 (350.44 €)

🔔 ПОВІДОМИТИ ПРО НАЯВНІСТЬ

Рис.3.8. Різальний інструмент 16ER150ISOKTX

- Для нарізання метричної різьби **M18×1.5** використовується інструмент **16ER10ISOKTX**, який забезпечує точність профілю різьби відповідно до стандартів.



Виробник: [KOVES](#)
 Модель: 16ER10ISOKTX
 Вага (кг): 0.01
 Наявність: 10

\$3.94 (175.33 €) \$7.87 (350.44 €)

Товари зі складів Київ (Липки), Львів та Одеса — не відправляються.

Склад:	Наявність:	Кількість:
Київ (ЖД)	10 шт.	⊖ 1 ⊕

ДО КОШИКА

Рис. 3.9. різальний інструмент 16ER10ISOKTX

- Для центрування та свердління отворів використовуються свердла типу **HSS (швидкорізальна сталь)**, що є універсальним рішенням для обробки сталей середньої твердості.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

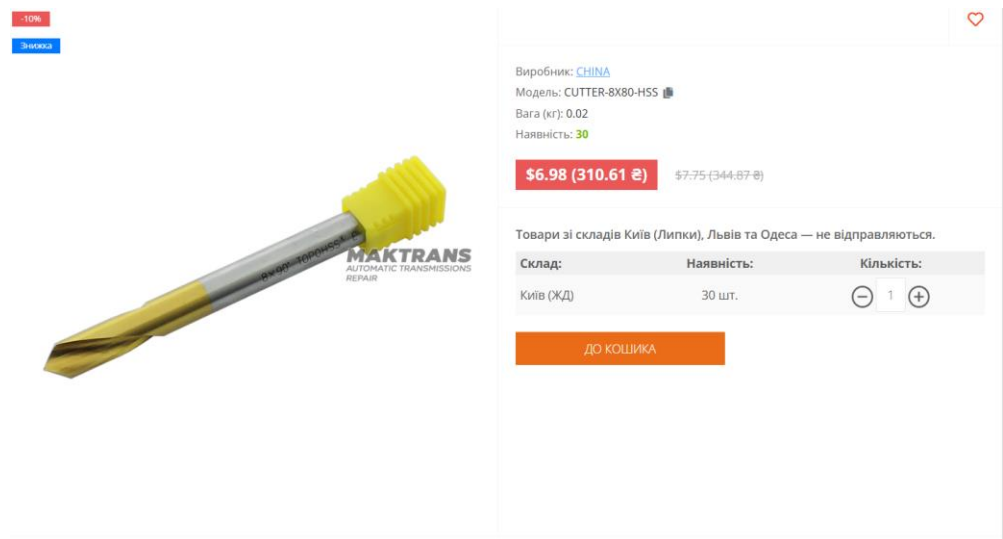


Рис.3.10. сведло типу HSS

- Для обробки та розточування конусного ущільнення застосовується токарний інструмент **CCMT060202E-PB1**, який забезпечує стабільну геометрію різання та високу якість поверхні.

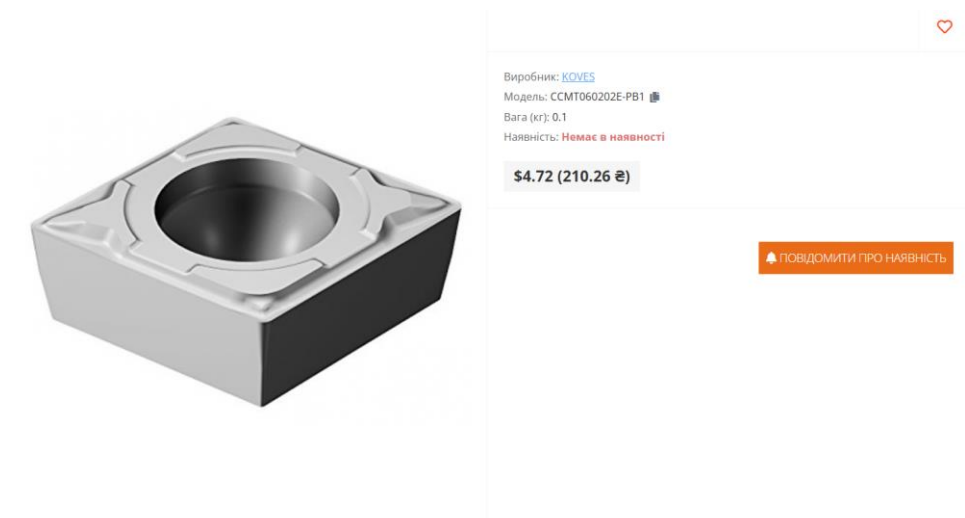


Рис. 3.11. Різальний інструмент CCMT060202E-PB1

Режими різання

№	Операція	Інструмент	V, м/хв	n, об/хв	S, мм/об
1	Чорнове точіння зовнішньої поверхні	WNMG080408-H1	110	1560	0,20
2	Чистове точіння зовнішньої поверхні	VNMG160404-MA	120	1660	0,10
3	Нарізання різьби M18×1.5	16ER10ISOKTX	50	930	1,50
4	Нарізання різьби 3/4 BSP/G	16ER150ISOKTX	30	360	1,81
5	Центрування	Центрувальне свердло HSS	12	940	0,05
6	Свердління центрального отвору	Свердло HSS	18	640	0,10
7	Розточування внутрішнього отвору	CCMT060202E-PB1	80	1520	0,08
8	Зняття фасок	Токарний різець фасочний інструмент	80	950–1150	0,08

Висновок до розділу 3

У розділі "Технологія машинобудування" було розглянуто основні аспекти проектування та розробки технологічного процесу виробництва деталі. Було здійснено технологічний контроль креслення деталі, обрано заготовки згідно з технічним завданням, розроблено технологічний процес та підібрано необхідний інструментарій та обладнання.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час експлуатації пневматичних систем із рекуперацією стисненого повітря на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Основними джерелами небезпеки є пневматичні приводи, трубопроводи високого тиску, ресивери, бустерні регулятори, електропневматичні розподільники та допоміжне електрообладнання.

До небезпечних факторів належать:

- підвищений тиск у пневматичній системі;
- розрив трубопроводів або з'єднувальних елементів;
- неконтрольоване переміщення рухомих частин маніпулятора;
- можливість викиду стисненого повітря;
- небезпека ураження електричним струмом;
- підвищений рівень шуму від роботи пневматичного обладнання;
- можливість механічного травмування персоналу.

Особливу небезпеку становлять аварійні режими роботи, пов'язані з пошкодженням ресивера або трубопроводів. При раптовому руйнуванні елементів системи відбувається миттєве вивільнення запасеної енергії стисненого повітря, що може призвести до травмування персоналу та пошкодження обладнання.

Відповідно до вимог стандарту ISO 4414, пневматичні системи повинні проєктуватися таким чином, щоб втрати тиску, перевищення допустимого тиску, витoki повітря та відмови компонентів не створювали небезпечних ситуацій для персоналу. Для цього застосовуються запобіжні клапани, регулятори тиску, аварійне скидання тиску та засоби блокування джерел енергії.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1. Мікроклімат

Приміщення, в якому передбачається встановлення системи рекуперації стисненого повітря, має наступні розміри:

- Ширина – 8м
- Довжина – 10м
- Висота – 2.5м

Визначимо об'єм приміщення:

$$V = a \times b \times c$$

$$V = 8 \times 10 \times 2,5$$

$$V = 200 \text{ м}^3$$

Параметри мікроклімату на робочому місці оператора маніпулятора повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» для категорії робіт середньої важкості (категорія Па, до якої належить керування робототехнічними комплексами):

- у холодний період року: оптимальна температура повітря — 18–20 °С, допустима — до 22 °С; відносна вологість — 40–60 %; швидкість руху повітря — не більше 0,2 м/с;
- у теплий період року: оптимальна температура — 20–22 °С, допустима — до 25 °С; відносна вологість — 40–60 %; швидкість руху повітря — не більше 0,3 м/с.

Для підтримання заданих параметрів, видалення надлишків тепла від компресора та запобігання накопиченню масляного туману приміщення обладнується загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією з механічним спонуканням згідно з ДСТУ EN 16798-3:2019.

4.2. Освітлення

Для забезпечення нормальних умов праці необхідно створити нормативну освітленість робочої поверхні.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа вікон приймається:

$$S_{\text{в}} = S / 8$$

$$S_{\text{в}} = 80 / 8$$

$$S_{\text{в}} = 10 \text{ м}^2$$

Нормована освітленість робочої поверхні за штучного освітлення для IV розряду становить $E = 300$ лк при використанні світлодіодних джерел світла. Штучне робоче освітлення реалізовано за загальною рівномірною системою за допомогою енергоефективних світлодіодних світильників із класом захисту не нижче IP54 (зважаючи на можливість появи конденсату в зоні пневматики).

Визначимо потужність освітлення:

$$P = p \times S$$

Приймаємо:

$$p = 18 \text{ Вт/м}^2$$

$$P = 18 \times 80$$

$$P = 1440 \text{ Вт}$$

Отже, для забезпечення необхідного рівня освітлення необхідно встановити освітлювальні прилади загальною потужністю:

$$P = 1440 \text{ Вт}$$

4.3. Електробезпека

Електроустановка модуля рекуперації (електромагнітні котушки розподільників Samozzi, датчики тиску, КВП та привод компресора) живиться від мережі змінного струму напругою 380/220 В із частотою 50 Гц. За ступенем небезпеки ураження електричним струмом згідно з НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», приміщення дільниці з металевою підлогою та розгалуженою мережею трубопроводів належить до приміщень із підвищеною небезпекою.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для безпечної експлуатації впроваджено такі технічні заходи захисту (відповідно до ДСТУ ВДЕ 0100-410:2010):

- Захисне заземлення всіх металевих неструмоведучих частин обладнання (корпусу компресора, ресивера, станини маніпулятора) до загального контуру заземлення. Згідно з ГОСТ 12.1.030-81, величина опору захисного заземлення для електроустановок напругою до 1000 В не повинна перевищувати $R \leq 4 \text{ Ом}$.
- Застосування пристроїв захисного відключення (ПЗВ) зі струмом спрацьовування не більше 30 мА для кіл керування.
- Забезпечення подвійної ізоляції струмоведучих кабелів живлення електропневматичних розподільників Camozzi та захист їх від механічних пошкоджень за допомогою металорукавів чи пластикових кабель-каналів.
- Наявність кнопки аварійної зупинки «Emergency Stop» червоного кольору на пульті оператора, яка миттєво знеструмлює електромагнітні клапани системи та перекриває подачу стисненого повітря.

4.4. Пожежна безпека

Пожежна безпека на ділянці розроблена відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України та ДСТУ ISO 23601:2019 «Пожежна безпека. Знаки безпеки. Плани евакуації». За нормами технологічного проектування та ДСТУ Б В.1.1-36:2016, приміщення за вибухопожежною небезпекою належить до категорії Д (категорія обробки негорючих матеріалів у холодному стані). Клас зони за Правилами будови електроустановок (ПУЕ) — непожежонебезпечна.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними причинами виникнення пожежі в системі можуть бути: коротке замикання в котушках електророзподільників, перевантаження або перегрів електродвигуна компресора понад критичну норму, іскріння контактів або механічне тертя в рухомих з'єднаннях маніпулятора Dalmes у разі відсутності належного змащення.

Для ліквідації можливих загорянь електрообладнання під напругою та мастильних матеріалів компресора, приміщення укомплектовується первинними засобами пожежогасіння згідно з Правилами пожежної безпеки в Україні:

- Вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-5 (ОУ-5) — 2 шт.
- Ящик із сухим піском об'ємом 0,5 м³ та лопата.
- Автоматична пожежна сигналізація з димовими сповіщувачами типу СПД, виведена на загальнозаводський пульт охорони.
- Наочний та чітко розроблений план евакуації персоналу, розміщений біля виходу з приміщення.

4.5 Захист від шуму

Основним джерелом акустичного забруднення на дільниці є робота поршневого чи гвинтового компресора, робота бустерного регулятора Samozzi ВРА-063-R1 та вихлоп відпрацьованого стисненого повітря з розподільників у моменти зміни напрямку ходу штока пневмоциліндра (діаметр поршня 63 мм). Максимальний рівень еквівалентного шуму від незахищеного компресорного агрегату може досягати $L = 80 \dots 85$ дБ.

Згідно з вимогами санітарних норм ДСН 3.3.6.037-99, гранично допустимий рівень шуму на робочих місцях операторів та інженерно-технічного персоналу не повинен перевищувати 80 дБ.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зниження шуму до нормативних значень у проєкті реалізовано такі інженерно-технічні рішення:

- Встановлення на вихлопних портах електропневматичних розподільників Camozzi та бустерного регулятора пористих металокерамічних (бронзових) глушників шуму серії Camozzi 2901-3/8 або аналогічних, що знижують рівень шуму вихлопу на 20–25 дБ.
- Розміщення компресорної установки в окремому звукоізованому приміщенні або використання заводського шумопоглинального кожуха компресора.
- Встановлення компресора та опор ресивера (вагою 35 кг) на віброізолювальні гумові амортизатори або пружні елементи для усунення передачі структурного шуму та вібрації на фундамент будівлі.

Висновок до розділу 4

У четвертому розділі виконано детальний аналіз умов праці та потенційних небезпечних факторів під час експлуатації системи рекуперації енергії в пневматичному маніпуляторі Dalmec Partner Equo з ресивером на 50 літрів. Обґрунтовано заходи безпеки, що повністю відповідають чинному законодавству України про охорону праці. Розраховано та спроектовано оптимальні параметри виробничого мікроклімату, штучного світлодіодного освітлення потужністю 1440 Вт, контуру захисного заземлення з опором до 4 Ом, пожежної безпеки ділянки категорії Д та захисту оператора від шуму шляхом впровадження пневматичних глушників вихлопу Camozzi. Запропонований комплекс організаційно-технічних заходів унеможливорює виникнення виробничого травматизму та аварійних ситуацій.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У дипломному проєкті на тему «Система рекуперації енергії в пневмоприводах робототехнічних маніпуляторів» було вирішено актуальне завдання підвищення енергоефективності пневматичних систем шляхом повторного використання відпрацьованого стисненого повітря.

У першому розділі проведено аналіз сучасних систем рекуперації енергії, розглянуто основні різновиди рекуперативних установок та особливості їх застосування у промисловості. Досліджено принципи рекуперації стисненого повітря, виконано аналіз патентних рішень провідних промислових країн та визначено перспективність використання таких систем у робототехнічних маніпуляторах.

У другому розділі розроблено принципову схему системи рекуперації стисненого повітря для пневматичного маніпулятора. Проведено розрахунок основних параметрів системи, зокрема витрати повітря, об'єму ресивера, параметрів бустерного регулятора та конструктивних елементів установки. Виконано підбір необхідного обладнання, що забезпечує стабільну роботу системи та ефективне використання енергії відпрацьованого повітря.

У третьому розділі розглянуто технологічні аспекти виготовлення елементів конструкції. Виконано вибір заготовки, розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення деталі та визначено режими механічної обробки, що забезпечують необхідну точність і якість виготовлення.

У четвертому розділі проведено аналіз умов праці під час експлуатації розробленої системи. Розглянуто питання забезпечення нормативних параметрів мікроклімату, освітлення, електробезпеки та пожежної безпеки. Запропоновані організаційні та технічні заходи дозволяють забезпечити безпечну експлуатацію обладнання відповідно до чинних вимог охорони праці.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті виконання дипломного проєкту розроблено систему рекуперації стисненого повітря, яка дозволяє повторно використовувати частину енергії відпрацьованого повітря, зменшувати навантаження на компресорне обладнання та підвищувати загальну енергоефективність пневматичного маніпулятора. Отримані результати можуть бути використані при модернізації існуючих пневматичних систем промислових підприємств та впровадженні енергоощадних технологій у виробництві.

Таким чином, поставлена мета дипломного проєкту досягнута, а всі визначені завдання виконані в повному обсязі.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. ScienceDirect Topics. Shell and Tube Exchangers: Design and Operation [Електронний ресурс]: Електронна науково-довідкова стаття / ScienceDirect Topics – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shell-and-tube-exchangers>.
2. PHX Equip Engineering. Shell & Tube Heat Exchangers Mechanical Design [Електронний ресурс]: Технічний огляд компанії / PHX Equip Engineering – Режим доступу до ресурсу: <https://phxequip.com/shell-tube-heat-exchangers-mechanical-design/>.
3. EdrawMax Templates. Shell and Tube Heat Exchangers Diagram Guide [Електронний ресурс]: Електронне керівництво та шаблони інженерних графічних схем / EdrawMax Templates – Режим доступу до ресурсу: <https://www.edrawmax.com/templates/shell-and-tube-heat-exchangers-diagram/>.
4. DieselNet. Diesel Particulate Filter (DPF) Regeneration Mechanism [Електронний ресурс]: Спеціалізований інформаційно-технічний веб-ресурс / DieselNet – Режим доступу до ресурсу: https://dieselnet.com/tech/dpf_regen.php.
5. Alternative Fuels Data Center. How Regenerative Braking Works in Modern Electric Vehicles [Електронний ресурс]: Офіційний інформаційно-довідковий державний веб-портал / Alternative Fuels Data Center – Режим доступу до ресурсу: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-regenerative-braking-works>.
6. Electric Vehicle Engineering Portal. EV Regenerative Braking Wiring and System Diagram [Електронний ресурс]: Спеціалізований інженерний інтернет-портал (схеми та креслення) / Electric Vehicle Engineering Portal – Режим доступу до ресурсу: <https://evengineeringportal.com/ev-regenerative-braking-wiring-diagram>.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Hydraulic Engineering Online. Hydraulic Regenerative Braking System Diagram [Електронний ресурс]: Галузовий онлайн-ресурс з гідравлічного інжинірингу / Hydraulic Engineering Online – Режим доступу до ресурсу: <https://hydraulicengineeringonline.com/hydraulic-regenerative-braking-system-diagram>.

8. Construction Equipment Guide. Caterpillar Hybrid Hydraulic Excavator Technology (CAT 336E H) [Електронний ресурс]: Електронне галузеве інформаційно-аналітичне видання / Construction Equipment Guide – Режим доступу до ресурсу: <https://www.constructionequipmentguide.com/caterpillar-hybrid-hydraulic-excavator-technology/20455>.

9. Cao J., Li Q. Research on Regenerative Braking Systems in Electric Vehicles [Електронний ресурс]: Наукова стаття у періодичному міжнародному фаховому виданні / J. Cao, Q. Li // Energies – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/journal/energies>.

10. Kidston Th. A. Regenerative Braking System for Vehicles: Patent US 8360533 B2 [Електронний ресурс]: Патентний документ / Опис винаходу до патенту США / Th. A. Kidston // United States Patent – Режим доступу до ресурсу: <https://patents.google.com/patent/US8360533B2/en>.

11. Cunningham G. L. Method and System for Diesel Particulate Filter (DPF) Regeneration: Patent US 20070044460 A1 [Електронний ресурс]: Патентний документ / Опис винаходу (заявка на патент США) / G. L. Cunningham // United States Patent Application – Режим доступу до ресурсу: <https://patents.google.com/patent/US20070044460A1/en>.

12. Society of Automotive Engineers. Hydraulic Regenerative Braking for Passenger Vehicles [Електронний ресурс]: Наукова доповідь / Стаття у збірнику наукових праць / Society of Automotive Engineers // SAE International – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sae.org/publications/technical-papers>.

		Поліщук А.Р.			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С.				78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. HANSA-FLEX. Hauptkatalog 1: Schlauchleitungen und Armaturen [Електронний ресурс]: Виробничо-технічний каталог продукції / Промисловий довідник компонентів / HANSA-FLEX – Режим доступу до ресурсу: <https://hansa-flex.com/downloads/kataloge/>.

14. Камоцці в Україні. Пневматична та гідравлічна автоматика Camozzi: електронний каталог продукції [Електронний ресурс]: Промисловий електронний каталог компонентів та засобів автоматизації / Камоцці в Україні – Режим доступу до ресурсу: <https://catalogue.camozzi.ua>.

15. Cummins Inc. Cummins Aftertreatment Systems: Technical Specification Manual [Електронний ресурс]: Технічне керівництво / Інструкція зі специфікаціями та експлуатації обладнання / Cummins Inc. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cummins.com/components/aftertreatment-systems>.

16. Caterpillar Inc. Caterpillar 336E H Hybrid Hydraulic Excavator: Product Specifications [Електронний ресурс]: Технічна специфікація / Офіційний проспект продукції виробника / Caterpillar Inc. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cat.com/products/new/equipment/excavators>.

17. Parr A. Hydraulics and Pneumatics: A Technician's and Engineer's Guide (3rd ed.) [Електронний ресурс]: Навчально-технічний посібник / Практичне керівництво для інженерів і техніків / A. Parr – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/book/9780080966748/hydraulics-and-pneumatics>.

18. Stewart H. L. Hydraulic and Pneumatic Power for Production [Електронний ресурс]: Виробничо-практичне видання / Монографія з промислового застосування гідро- та пневмоприводів / H. L. Stewart – Режим доступу до ресурсу: <https://www.industrialpress.com/hydraulic-and-pneumatic-power>.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Jagadeesha T. Hydraulics and Pneumatics [Електронний ресурс]: Навчальний посібник / Базовий підручник для інженерних спеціальностей / Т. Jagadeesha – Режим доступу до ресурсу:

<https://www.universitiespress.com/hydraulics-and-pneumatics>.

20. Anna University, Chennai. Hydraulics and Pneumatics: Lecture Notes [Електронний ресурс]: Навчально-методичне видання / Офіційний конспект лекцій університету / Anna University, Chennai – Режим доступу до ресурсу: https://www.annauniv.edu/academic_courses.

21. NPTEL, IIT Bombay. Introduction to Hydraulics and Pneumatics: Course Notes [Електронний ресурс]: Навчальний курс / Методичні матеріали до лекційного курсу / NPTEL, IIT Bombay – Режим доступу до ресурсу: <https://nptel.ac.in/courses>.

22. Pneumax S.p.A. Modern Pneumatics Handbook [Електронний ресурс]: Технічний довідник / Інженерна книга з сучасної пневматики / Pneumax S.p.A. – Режим доступу до ресурсу:

<https://www.pneumaxspa.com/technical-notebooks>.

		Поліщук А.Р			ДП МА21.00.007.ПЗ	Арк.
		Галецький О.С				80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		