

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ І
МЕХАНОТРОНІКИ

«На правах рукопису»

УДК 621.363:621.313

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

О.Ф. Луговський
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2019 р.

Магістерська дисертація

Зі спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і назва спеціальності)

на тему: Експериментальний стенд для дослідження ефективності роботи системи
накопичення енергії стиснутого повітря

Виконав: студент 6 курсу, групи МА82-мп
(шифр групи)

Деремед Віталій Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник ст. викл., к.т.н. Галецький О. С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант ОП та безпека в НС, ст. викл., к.т.н. Ковтун Андрій Іванович
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рецензент доц. к.т.н. Борис Р.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

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

Студент (підпис)
(підпис)

Київ – 2019 рік

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

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Освітній ступінь «магістр»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О. Ф. Луговський
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Деремез Віталій Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Експериментальний станок для дослідження ефективності роботи системи поглинання енергії стиснутого повітря
науковий керівник дисертації _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 31 » жовтня 2019 р. № ЗБД-С

2. Термін подання студентом дисертації 13 грудня 2019

3. Об'єкт дослідження : є процес функціонування пневматичного розподільника з діючим системою регенерації стиснутого повітря

4. Предмет дослідження є взаємозв'язок параметрів та умов експлуатації з функціональними характеристиками

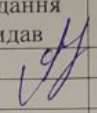
5. Перелік завдань, які потрібно розробити - Запроєктувати станок рішенням модуля регенерації стиснутого повітря.
- провести розробку модуля поглинання енергії стиснутого повітря
- провести розробку модуля надпорядкового стиснення
- розробити математичну модель роботи модуля регенерації пневматичної енергії.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Видні зразки, зображення моделей, моделі функціонування та їх модифікацій

робота над дисертаційною роботою

7. Орієнтовний перелік публікацій система розподілу енергії в системі енергетичного району, енергетичній мережі розподільчої енергетичної мережі міста Львова

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Ковтун А.І., к.т.н., ст.викладач		

9. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз існуючих книг і статей, що стосуються переведення метричних одиниць в метричну систему одиниць	07.09.2019 - 25.09.2019	виконано
2	Визначення ефективності системи, розробка енергетичної діагностики системи розподільчої енергетичної мережі, систем розподільчої енергетичної мережі	25.09.2019 - 05.11.2019	виконано
3	Визначення енергетичної моделі для порівняння роботи та аудитування, визначення енергетичної моделі, обробка отриманих даних та формування висновків.	05.11.2019 - 06.10.2019	виконано

Студент

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(підпис)

Деремез В.С.
(ініціали, прізвище)

Толмачов О.С.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Експериментальний стенд для дослідження ефективності роботи системи накопичення енергії стиснутого повітря» обсяг пояснювальної записки містить 5 розділів на 113 сторінках основного тексту, що включають 37 рисунків і 19 таблиць, а також 9 плакатів графічного матеріалу.

Метою роботи є підвищення ефективності використання енергії в системах рекуперації та створення експериментального стенду для дослідження системи накопичення стиснутого повітря, на базі стенда для динамічних випробувань поршневого пневмопривода двосторонньої дії.

Перший розділ даної роботи присвячено аналізу існуючих систем та пневматичних приводів з функцією накопичення стиснутого повітря. Аналіз показав доцільність проведення досліджень в даному напрямку та ефективність існуючих систем. Але в свою чергу існуючі системи не можуть бути реалізовані в поєднанні з об'ємним пневмоприводом.

Другий розділ даної роботи присвячено розробці експериментального стенду для дослідження модуля накопичення стиснутого повітря. Запропонований модуль включає в себе ресивер, систему клапанів та клапан для забезпечення рекуперації стиснутого повітря, що поєднанні відповідним чином.

Третій розділ даної роботи присвячено розробці математичної моделі для дослідження системи накопичення стиснутого повітря. Проведені модельні дослідження дозволили підтвердити, що система накопичує енергію стиснутого повітря в режимі рекуперації, яка надалі використовується для живлення пневматичної мережі в блоках керування.

Четвертий розділ даної роботи присвячено розробленню стартап-проекту, опис ідеї, технологічний аудит ідеї проекту, аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту, розроблення ринкової стратегії проекту, розроблення маркетингової програми стартап – проекту.

П'ятий розділ даної роботи присвячено охороні праці та безпеці в надзвичайних ситуаціях, санітарно-гігієнічна характеристика приміщення лабораторії, вимоги до мікроклімату під час роботи в лабораторії, вимоги до освітлення під час роботи в лабораторії, електробезпека.

Об'єктом досліджень є процес функціонування пневматичного приводу з системою рекуперації стиснутого повітря у сукупності із взаємно узгодженими параметрами складових частин та умовами експлуатації.

Предметом досліджень є взаємозв'язок параметрів та умов експлуатації з функціональними характеристиками, коефіцієнтом корисної дії, енергоефективністю пневматичного приводу з системою рекуперації стиснутого повітря.

Наукова новизна одержаних результатів:

- теоретично підвищено ефективність накопичення енергії стиснутого в об'ємному пневмоприводі за рахунок перетворення кінетичної енергії рухомих мас пневматичних циліндрів у режимі гальмування в енергію стиснутого повітря, що дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії пневматичного приводу та цілої системи.
- Вперше розроблено математичну модель запропонованої системи накопичення стиснутого повітря, що дозволяє проектувати системи рекуперації для пневматичних приводів двосторонньої дії.

Публікації. За темою магістерської дисертації було опубліковано 2 праці, а саме 2 тези та представлено результати на всеукраїнській науково-технічній конференцію.

Ключові слова: *модуль накопичення стиснутого повітря, енергоефективність, поршневий пневмопривод, підвищення коефіцієнта корисної дії, стенд перевірки та накопичення стиснутого повітря.*

ABSTRACT

Master's Thesis: "An Experimental Stand for Investigating the Efficiency of Compressed Air Energy Storage" The volume of the explanatory note contains 5 sections on 113 pages of the main text, including 37 figures and 19 tables, as well as 9 posters of graphic material.

The purpose of this work is to increase the efficiency of energy use in the recovery systems and to create an experimental stand for the investigation of the compressed air accumulation system, based on the stand for dynamic testing of a double-acting piston pneumatic actuator.

The first section of this paper deals with the analysis of existing systems and pneumatic actuators with the function of compressed air accumulation. The analysis showed the feasibility of conducting research in this area and the effectiveness of existing systems. However, existing systems cannot be implemented in conjunction with a volumetric pneumatic actuator.

The second section of this paper is devoted to the development of an experimental bench for the study of the compressed air accumulation module. The proposed module includes a receiver, a valve system and a valve to allow for the recovery of compressed air, which are properly combined.

The third section of this paper is devoted to the development of a mathematical model for the study of the compressed air accumulation system. Model studies have shown that the system accumulates compressed air in the recovery mode, which is then used to feed the pneumatic network in the control units.

The fourth section of this paper is devoted to the development of a startup project, the description of the idea, technological audit of the project idea, analysis of market opportunities for launching a startup project, developing a market strategy for the project, developing a marketing program for a startup project.

The fifth section of this paper deals with occupational safety and health, the hygienic characteristics of the laboratory premises, the requirements for the

microclimate while working in the laboratory, the requirements for lighting while working in the laboratory, and electrical safety.

The object of research is the process of operation of a pneumatic actuator with a system of compressed air recovery in combination with mutually agreed parameters of components and operating conditions.

The subject of research is the correlation of parameters and operating conditions with functional characteristics, efficiency, energy efficiency of a pneumatic actuator with a system of compressed air recovery.

Scientific novelty of the obtained results:

- The efficiency of energy accumulation of compressed air in a three-dimensional pneumatic actuator is theoretically enhanced by converting the kinetic energy of the moving masses of the pneumatic cylinders in the braking mode into the energy of the compressed air, which allows to increase the efficiency of the pneumatic actuator and the whole system.

- For the first time, a mathematical model of the proposed compressed air storage system has been developed that allows the design of recovery systems for pneumatic actuators of bilateral action.

Publications. Two papers were published on the topic of the master's thesis, namely 2 theses and the results presented at the All-Ukrainian scientific and technical conference.

Keywords: *compressed air accumulation module, energy efficiency, piston pneumatic actuator, efficiency increase, test bench and compressed air accumulation.*

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: Експериментальний стенд для дослідження ефективності роботи системи
накопичення енергії стиснутого повітря

Київ 2019

ЗМІСТ

	Ст.
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ВИДІВ ПНЕВМАТИЧНИХ СИСТЕМ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА МОБІЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ.....	16
1.1. Існуючі виробники гібридних приводів в машинобудуванні та мобільній техніці.....	16
1.2. Рекуперативна модель відновлення кінетичної енергії розроблена в Технічному Університеті, Iasi.....	19
1.2.1. Концептуальна модель та мехатронна конфігурація відновлення кінетичної енергії розроблена.....	19
1.2.2. Технічне рішення, прийняте для проектування тестового стенда.	22
1.2.3. Загальна збірка та структура метронного тестового стенда.....	24
1.2.4. Тестування динамічної поведінки гібридних автотransпортних засобів за допомогою імітаційної мережі в режимі реального часу.....	28
1.2.5. Створення підсистеми спільного моделювання	28
1.2.6. Основні висновки рекуперативної моделі відновлення кінетичної енергії розробленої в Технічному Університеті, Iasi	29
1.3. Теплообмінники повітря.....	31
1.4. Система рекуперації кінетичної енергії в енергію стиснутого повітря для транспортних засобів	35
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕНЕРГІЮ СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ.....	41
2.1. Теоретичне підтвердження ефективності роботи модуля накопичення пневматичної енергії.....	41
2.2. Розробка електропневматичної схеми лабораторного стенда з модулем системи накопичення стиснутого повітря.....	45
2.4. Робота системи накопичення стиснутого повітря	48
2.5. Розрахунок лабораторного стенду з модулем системи накопичення стиснутого повітря	52

2.5.1. Статичний розрахунок приводу	53
2.5.2. Діаграма роботи пневмоциліндра двосторонньої дії.....	55
2.5.3. Розрахунок модуля системи накопичення стиснутого повітря....	56
2.6. Методика розрахунку пневмо приводу з системою рекуперації пневматичної енергії.	62
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЗИЦІЙНОГО ПРИВОДУ	65
3.1. Розробка принципової схеми пневмотичного розподільника позиційного приводу.....	65
3.2. Математична модель пневматичного розподільника.....	69
3.3. Дослідження пневматичного розподільника в середовищі SolidWorks...	75
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	79
4.1. Опис ідеї проекту	79
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	81
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	81
4.3.1. Аналіз попиту	81
4.3.2. Визначення потенційної групи клієнтів	82
4.3.3. Аналіз ринкового середовища	83
4.3.4. Аналіз пропозиції.....	84
4.3.5. Детальний аналіз конкуренції в галузі	86
4.3.6. Аналіз факторів конкурентоспроможності	87
4.3.7. Складання SWOT-аналізу	88
4.3.8. Альтернативи ринкової поведінки.....	89
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	91
4.4.1. Стратегія охоплення ринку	91
4.4.2. Базова стратегія розвитку	92
4.4.3. Стратегія конкурентної поведінки	94
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап – проекту.....	95
4.5.1. Формування маркетингової концепції товару	95
4.5.2. Визначення цінових меж	95

45.3. Визначення оптимальної системи збуту	96
45.4. Концепція маркетингових комунікацій	98
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	100
5.1. Санітарно-гігієнічна характеристика приміщення лабораторії	100
5.2. Вимоги до мікроклімату під час роботи в лабораторії	101
5.3. Вимоги до освітлення під час роботи в лабораторії.....	103
5.4. Електробезпека.....	105
5.5. Пожежна безпека.....	106
5.6. Визначення ступенів руйнувань елементів будинку.....	107
ВИСНОВКИ.....	112
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	113
ДОДАТОКИ:	
ДОДАТОК А.....	115
ДОДАТОК Б	121

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕСПП – електрогідравлічні слідкуючі позиційні приводи;
ЦРП – цифровий регулятор положення;
РШ – регулятор швидкості;
РС – регулятор струму;
ПР – перетворювач;
Д – двигун;
ДШ – датчик швидкості;
ДК – датчик кута;
РО – робочий орган;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ДРЕК – блок дискретного розподілення з електричним керуванням;
ПУ – блок програмного управління;
ДРР – блок дозування робочої рідини;
РЕК – блок реверсу з електричним керуванням;
 S – площа;
 h – переміщення;
 v – швидкість руху поршня;
 Q – витрата робочої рідини;
 E – модуль пружності робочої рідини;
 μ – коефіцієнт витрати робочої рідини;
 c – жорсткість пружини;
 b – коефіцієнт в'язкого тертя;
 V_0 – початковий об'єм порожнин.

ВСТУП

Пневматична енергія - один з найдорожчих видів енергії, оскільки підготовка повітря чи іншого газу, тобто робочого газу, є досить дорогою. Щоб знизити витрати робочої рідини, системи намагаються повторно використовувати енергію, тому деякий відсоток використаної енергії повертається для повторного використання, підключаючи її до самої системи або застосовуючи її для інших потреб.

Повторне використання енергії називається рекуперацією, на даний момент існує кілька видів відновлення енергії, такі як: електричне, пневматичне, гідравлічне, механічне.

В даний час електроенергія, вироблена в залізничному транспорті, під час рекуперативного гальмування повертається в контактну мережу (на відміну від реостатичного гальмування, під час якого електроенергія гаситься на гальмівних резисторах, тобто перетворюється на тепло і розсіюється системою охолодження). Рекуперативне гальмування використовується для уповільнення руху поїзда, коли поїзд рухається вниз по крутому схилу вниз і використання пневматичних гальм є недоцільним. Тобто, рекуперативне гальмування використовується для підтримки заданої швидкості під час спуску поїзда. Цей тип гальмування може значно заощадити електроенергію.

Однак в Україні досить невелика кількість електровозів оснащена системою рекуперативного гальмування. В основному, рекуперативне гальмування оснащене електричними локомотивами постійного струму, це пояснюється простотою перемикання тягових двигунів в режим генератора. Встановлення цього типу гальмування на електричних локомотивах змінного струму є проблематичним, оскільки перетворення постійного електричного струму в змінного струму є досить складним процесом.

Механічне рекуперативне гальмування досягається, наприклад, за рахунок накопичення кінетичної енергії під час руху транспорту, а потім його використання для запуску руху або при подоланні значного опору під час руху.

Цей тип відновлення є найпростішим і дешевим, але він вимагає використання розмірних механізмів і важких матеріаломістких структур, що загалом перешкоджає розвитку цього типу рекуперативного гальмування.

Гідравлічне рекуперативне гальмування досягається перемиканням тягових двигунів на режим насоса та подальшим накопиченням енергії в гідравлічних акумуляторах. Доцільність використання таких систем полягає в машинах і механізмах загальною потужністю близько 20 кВт і вище, за умови, що така система регулярно обладнується гідравлічною системою. У цьому випадку додавання більше елементів та коригування алгоритму управління машиною може підвищити загальну ефективність.

Пневматичні системи відновлення енергії корисні, коли необхідно отримати високі показники роботи системи на машинах середньої потужності. В даний час пневматичні системи відновлення широко поширені навіть у пневматичних машинах.

Одним із можливих варіантів підвищення загальної ефективності існуючих тягових агрегатів і поїздів, а також залізничних тягових вагонів є введення додаткового модуля, який під час гальмування накопичуватиме енергію у вигляді стисненого повітря у приймачі. Далі, якщо необхідно, стиснене повітря може використовуватися для живлення бортової пневматичної мережі, що зменшить необхідність увімкнення компресора, що живить пневматичну мережу.

Розглянувши таке питання в дипломній роботі Бакалавра, було запропоновано зробити стенд для перевірки цієї теорії на практиці [1].

Мета: Розробити експериментальний стенд для дослідження системи перетворення кінетичної енергії руху транспортного засобу в енергію стиснутого повітря, що дозволить дослідити ефективність запропонованої системи накопичення стиснутого повітря.

Для дослідження поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- запропонувати схемні рішення модуля рекуперації стиснутого повітря, для повторного використання;
- провести розрахунки модуля накопичення енергії стиснутого повітря;
- провести розрахунки лабораторного стенда для проведення експериментальних досліджень модуля рекуперації стиснутого повітря;
- розробити математичну модель роботи модуля рекуперації пневматичної енергії, та перевірити її на коректність роботи;
- провести модельні дослідження, що підтверджують ефективність роботи системи з модулем рекуперації стиснутого повітря.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ВИДІВ ПНЕВМАТИЧНИХ СИСТЕМ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА МОБІЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

1.1. Існуючі виробники гібридних приводів в машинобудуванні та мобільній техніці

Виробники транспортних засобів постійно переймаються скороченням споживання палива та зниження забруднюючих викидів. (Gauchia & Sanz, 2010). Крім транспортних засобів, які використовують скрапленого газу, метанолу, електроенергії чи паливних елементів, також було розроблено та виготовлені різні гібридні приводні двигуни. (Toyota, 2008; Permo Drive, 2009; Ітон, 2011).

Відомо, що під час робочого циклу автотранспорту, який складається з періоду прискорення, ще одне біг із постійною швидкістю та період уповільнення,

Потужність, необхідна під час прискорення, значно більша, ніж потрібна під час бігу постійна швидкість і, в принципі, саме ця потужність визначає розмір встановленого двигуна на автотранспортному засобі. При гальмуванні транспортного засобу кінетична енергія, отримана прискоренням автомобіль перетворюється на теплову енергію, яка знаходиться в гальмівній системі і потрапляє втрачено, необоротно, у космос, з негативним впливом на глобальне потепління. Отже, справедливо, є було сформульовано технічну проблему, що під час стадії гальмування автомобіля

Кінетична енергія, отримана нею, відновлюється і зберігається в акумуляторах живлення, а потім використовується на етапах пуску та прискорення. Тому виробники транспортних засобів вважають саме це радикальних рішень для досягнення вищезазначених цілей - глибока зміна моторики метод приведення в рух транспортних засобів, що сприяє гібридним системам приводу, які вважаються такими рішення на найближче майбутнє, для істотного зменшення споживання палива та забруднення викиди. Системи

рушія, що складаються, крім звичайного двигуна система з двигуном внутрішнього згоряння, принаймні ще одна, заснована на іншому типі.

Енергія, здатна забезпечити тягу на колесах автомобіля, яку утворює гібридна система приводу. Якщо вони разом із рушієм можуть відновитись під час гальмування, частина кінетичної енергії, накопиченої на етапах прискорення, і тоді вони називаються гібридні регенеративні системи. Особливістю регенеративних гібридних транспортних засобів є те, що вони включають компоненти, які захоплюють і зберігають кінетичну енергію автомобіля під час гальмування для нього використовуватись пізніше, або при прискоренні або з постійною швидкістю руху. Системи захоплення і зберігаючи кінетичну енергію виконують її перетворення і зберігання під різними формами енергії, а саме: як механічна / кінетична енергія маховика, як потенційна енергія робочої рідини (рідини або газу), як електрохімічної енергії (Gauchia & Sanz, 2010)), або як електростатична енергія. Для відновлення відновленої та накопиченої енергії приводні / приводні системи бувають також декількох типів, а саме: гідромеханічні системи (гідростатичні або гідродинамічні), електромеханічні системи (постійного струму або змінного струму) і механічні системи (механічні або механіко-інерційні). У всьому світі є різні рішення були розроблені для розробки гібридних систем, але найбільш поширеними є гібридні системи з термоелектричний привід і гібридні системи з термогідравлічним приводом.

Особливий розвивається конкуренція між термоелектричною гібридною системою (Toyota, 2011; Eaton, 2011), який, крім теплового двигуна, також має електричну систему приводу, і термогідравлічна гібридна система (Permo-Drive, 2011; Eaton, 2011a; Bosch Rexroth, 2011 p.), Який, окрім приводного теплового двигуна, має гідравлічну систему приводу.

У порівнянні з електромобілі, що характеризується зниженою самостійністю руху, гібридні транспортні засоби мають багато переваг, як правило, кінетична енергія автомобіля, накопичена у фазі прискорення, у фазі гальмування перетворюється на теплову енергію, яка, як правило, невідмінні,

витрачаються в атмосфері. Тому основні цілі гібридні системи - це відновлююча кінетична енергія дорожнього автотранспорту та скорочення споживання палива та забруднення навколишнього середовища (Parker Hannefin, 2010).

З викладених вище питань видно, що гібридні приводні системи дуже складні системи, багатoproфільні та міждисциплінарні. Також вони розвивають динамічні / мінущі режими роботи, з швидкою послідовністю подій у часі, важко керувати та керувати звичайними засобами. Тому для таких складних систем єдина технологія управління, оптимізація та контроль в умовах повної безпеки - це технологія мехатроніки, для тому гібридні приводні системи являють собою нове поле застосування мехатроніки (Ardeleanu та ін .; Cristescu et al., 2008b; 2007; Maties, 1998). 2. Мехатронна система відновлення кінетичної енергії при гальмуванні автомобілі.

Основне рішення, прийняте для досягнення системи відновлення кінетичної енергії для стадії гальмування, було відновлення кінетичної енергії гідравлічним шляхом, засноване на використанні гідравлічної машина, яка може працювати як насос, під час гальмування, так і як двигун прискорення. На етапах гальмування кінетична енергія двигуна транспортний засіб перетворюється гідравлічною машиною, яка працює як насос, у гідравлічної енергії і зберігається при високому тиску, в гідро пневматиці акумулятори. На стадіях прискорення гідростатична енергія, що зберігається в гідропневматичних акумуляторах, перетворюється назад в механічну енергію гідравлічною машиною, який зараз працює як двигун і генерує прискорення автомобіля [2].

Метою розробленої гідравлічної системи є відновлення кінетичної енергії при гальмуванні щабель автотранспорту.

Технічна проблема, яку вирішує гідравлічна система відновлення енергії, - це фіксація та зберігання втраченої енергії на етапах гальмування при середньому та важкому моторі транспортні засоби.

Метод полягає у використанні одного механічного та гідравлічного модуля, який здатний захоплювати і перетворювати кінетичну енергію в гідростатичну, а також зберігати і використовувати її для прискорення та пуск дорожнього автотранспорту. Впровадження гідравлічної системи для відновлення кінетичної енергії на двигуні транспортний засіб, перетворює його на гібридний автотранспортний засіб і призводить до зниження палива споживання, а також зменшення забруднення навколишнього середовища.

Основними завданнями гібридних силових установок є відновлення кінетичної енергії дороги автомобільних транспортних засобів, щоб зменшити витрату палива та підвищити енергоефективність силових установок автомобільних транспортних засобів.

1.2. Рекуперативна модель відновлення кінетичної енергії розроблена в Технічному Університеті, Iasi

1.2.1. Концептуальна модель та мехатронна конфігурація відновлення кінетичної енергії розроблена

Конструктивна та функціональна концепція розробки та впровадження системи гальмування відновлення енергії схематично показано на рис. 1.1., де представлена концептуальна модель побудови та встановлення системи рекуперації кінетичної енергії на а моторний транспортний засіб. Система відновлення енергії складається, по суті, з гідромеханічного модуль, що включає гідравлічну машину зі змінним переміщенням, яка може працювати як в режим насоса, під час гальмування та в руховому режимі, під час пуску моторний транспортний засіб. Гідравлічна машина приводиться в рух механічною коробкою передач і є керується електричною та електронною підсистемою управління, яка також виконує взаємодія з гальмівними та прискорювальними системами базового автомобіля, експлуатація

контролюється через процесор, який забезпечує інформаційну підтримку, характерну для мехатронні системи.

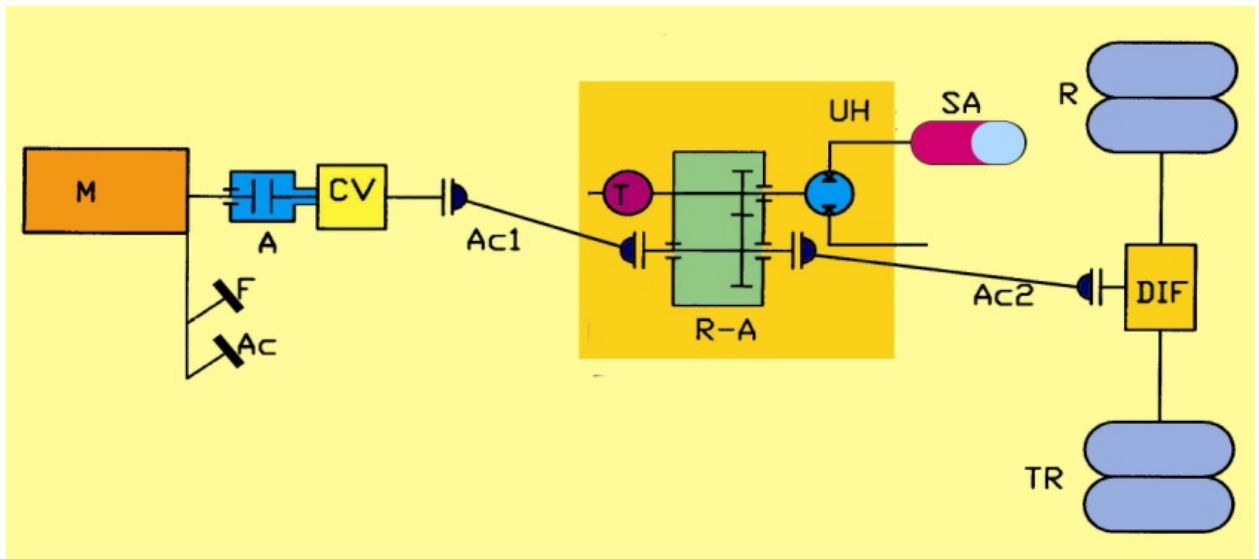


Рис. 1.1. Концептуальна модель побудови та встановлення / впровадження відновлення система на автотранспорті [3].

Встановлення системи рекуперації енергії може здійснюватися на автотранспортних засобах, які мають довгу карданну вісь між редуктором CV і диференціальним механізмом DIF, замінивши її на дві коротші осі. Механічне з'єднання між карданними осями Ac1 і Ac2, і система відновлення R-A є постійною і досягається за допомогою механічного трансмісія, яка пристосовує швидкість обертання карданної осі до робочої швидкості обертання гідравлічної машини UH в системі. Залежно від конкретних умов, передбачені автомобільним транспортним засобом, на якому встановлена система відновлення,

Розетка муфти та механічна трансмісія можуть бути розміщені на кінці карданної осі Ac1 впритул до коробки передач, в кінці карданної осі близько до заднього приводу TR або між ними CV редуктора і трансмісії TR, розділяючи карданну вісь.

Гідравлічний агрегат - це гідравлічна машина зі змінним геометричним об'ємом, яка може змінюватись від 0 до максимального значення ($V_g = \max$).

Осьовий поршневий гідравлічний агрегат може бути знімається з нульового положення переміщення, лише тоді, коли транспортний засіб рухається вперед. Коли це переходить у зворотний бік, переміщення одиниці залишається нульовим ($V_g = 0$).

Основна принципова схема системи автоматичного регулювання гібриду автотранспорту система приведення в рух, що включає систему відновлення енергії, показана на рис. 1.2. система регулювання досягає пропорційності між ходом педалі гальма, відповідно натискання педалі прискорення, при уповільненні відповідно при запуску автомобіля.

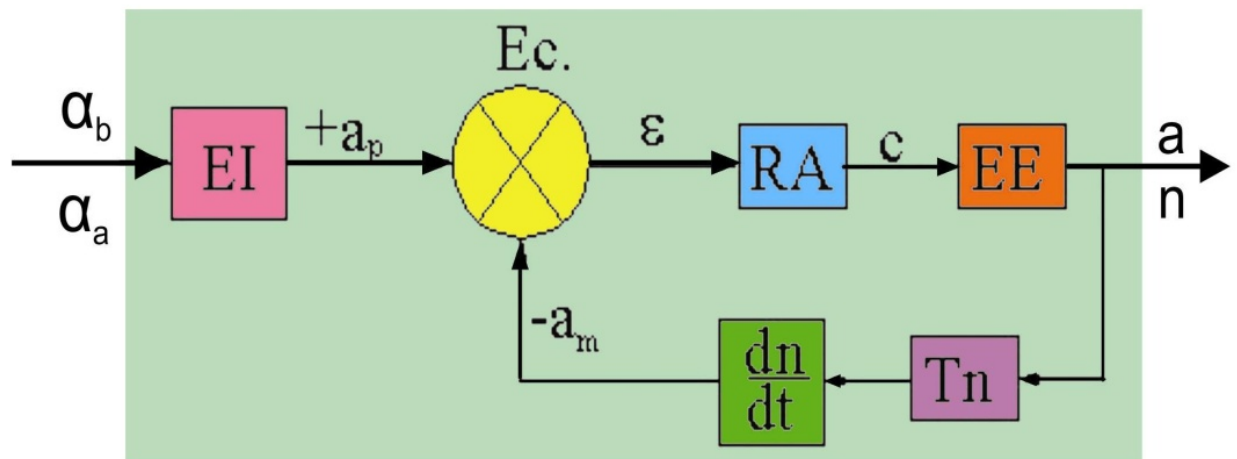


Рис. 1.2. Принципова схема автоматичного регулювання гібридної силової установки двигуна транспортного засобу [4]

Відповідно до схеми коригування (Рис. 1.2), складові елементи наступні системи:

ЕІ - вхідний елемент, який перетворює вхідний параметр системи, тобто кутовий
хода педалі гальма, відповідно кутовий хід педалі прискорення, в заданий параметр, тобто уповільнення, відповідно, прискорення, відповідно до етап роботи, гальмування або прискорення;

ЕС - елемент порівняння, який порівнює заданий параметр з вимірним прискорення a_m і передає автоматичному регулятору RA невідповідність між двома параметрами, щоб здійснити корекцію;

RA - автоматичний регулятор, який визначає, залежно від помилки, значення параметр приводу c , який буде працювати для вирівнювання заданого прискорення з фактичним значення прискорення a ;

EE - елемент виконання, представлений осьовим поршневым гідравлічним блоком, який визначає значення прискорення транспортного засобу, пропорційного прийнятої команди; цей елемент відтворює дубль частина: інформаційний та силовий обіг.

Система відновлення також включає гідравлічні пристрої для досягнення гідравлічних ланцюгів як перетворювачі, необхідні для моніторингу та автоматизації процесів гальмування та запуску / прискорення.

1.2.2. Технічне рішення, прийняте для проектування тестового стенда

Технічне рішення, прийняте, в принципі, для проектування та впровадження тестового стенда мехатронної системи для відновлення енергії відновлення, була симуляція, в лабораторії умови перехідних режимів роботи для запуску та гальмування автомобілів, заснований на використанні специфічного обладнання тільки з електричним і гідравлічним приводом і керуванням, моніторинг еволюції параметрів у системі та управління процесами комп'ютер, використовуючи якість виділене програмне забезпечення. Для імітації роботи теплового двигуна для автотранспорту було обрано комбіноване рішення на основі гідравлічного електронасоса, складається з електродвигуна і гідростатичного насоса високого тиску, який приводить в рух а гідравлічний двигун (або модуль прискорення) разом імітуючи теплову потужність, крутний момент джерело швидкості обертання, частини звичайного обладнання автомобіля. Секунда представлено джерело живлення, гідравлічну потужність, характерну для системи відновлення енергії саме гідромеханічним модулем системи рекуперації енергії, випробуваної на стенді, що складається з гідравлічної машини і ланцюгової або шестерні передач.

Один модуль навантаження збирає на своєму вході дві сили, імітуючи таким чином термогідравлічна гібридна система приведення в рух автотранспортних засобів. Таким чином, 3 силові системи автомобіля можна імітувати на стенді:

- термомеханічний привід, заснований на тепловому двигуні автомобільного транспортного засобу;
- механічно-гідравлічний привід, заснований на гідравлічній системі відновлення;
- термогідравлічний гібридний привід.

Прийняте технічне рішення дозволяє моделювати режими гальмування з кінетичною енергією система відновлення, а саме:

- гальмування з відновленням кінетичної енергії, враженої термомеханічною системою;
- гальмування з відновленням кінетичної енергії, враженої системою гідравлічного руху.

1.2.3. Загальна збірка та структура метронного тестового стенда

Загальна збірка механічного стенду, призначеного для випробування системи відновлення кінетичної енергії, показано (Рис. 1.3), а фізичний розвиток стенду показано (Рис. 1.4, 1.5).

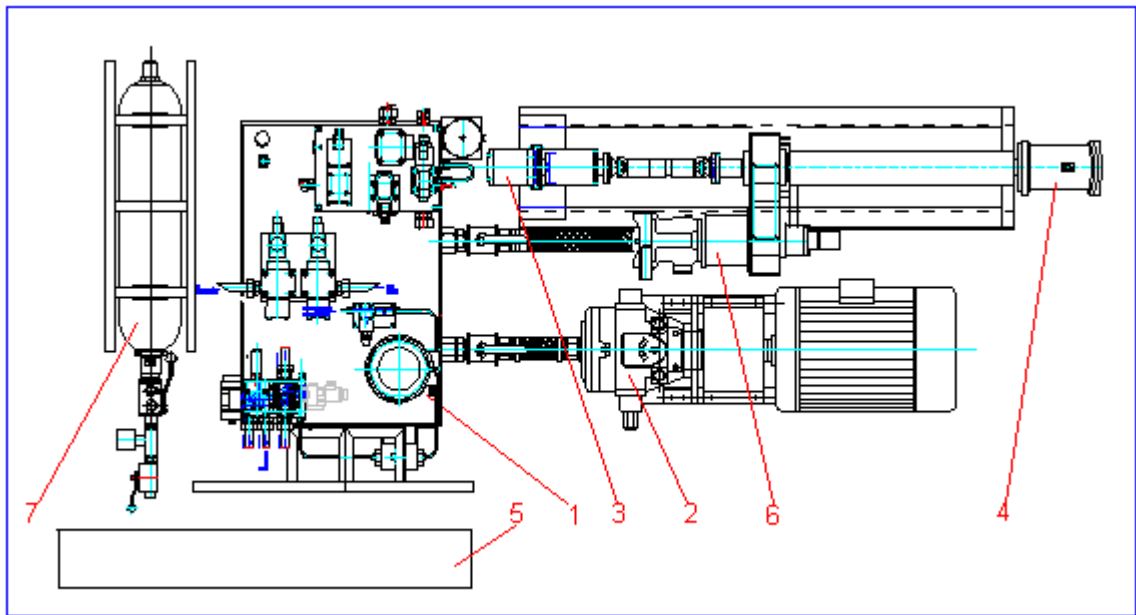


Рис. 1.3. Загальна збірка мехатронного стенду для тестування системи відновлення кінетичної енергії [5]

Структура мехатронного тестового стенда складається з наступних модулів, які можна побачити рис. 1.6.

1. гідромеханічний модуль випробуваної мехатронної системи для відновлення енергії, як джерело гідравлічної потужності гібридної приводної системи, що складається з гідравлічної машини і механічну ланцюгову або редукторну передачу, обладнану датчиком крутного моменту та швидкості, контролювати основні параметри: крутний момент і швидкість, показані рис. 1.6. (а);

2. випробувальний модуль або завантажувальний модуль, що містить навантажувальний пристрій, з рамою, що містить крутний момент перетворювач, з'єднавши на своєму виході гідравлічний агрегат, а на вході -

гідромеханічний модуль системи відновлення енергії, підданий випробуванню, показаному рис. 1.6. (б);

3. модуль електронасоса зі змінною швидкістю обертання та зміщенням, що формується разом з модулем прискорення (гідромотор) підсистемою для моделювання приводного двигуна, показаного рис. 1.6. (с);

4. модуль прискорення, що включає гідравлічний двигун, обертальний момент і перетворювач швидкості, і карданний вал, який механічно з'єднує дві приводні системи, імітовані, нагрівають і гідравлічний, показаний рис. 1.6. (d);

5. модуль для зберігання рідини під тиском або акумулятора акумуляторів, що містить: опорний каркас, на якому встановлені два гідропневматичні акумулятори, а також пов'язані пристрої безпеки, показані рис. 1.6. (e);

6. модуль гідравлічної станції з підсистемою кондиціонування робочої рідини, що складається з резервуар для масла, обладнаний системою регулювання температури, приводним насосом і гідравлічним блоком, показані рис. 1.6. (f);

7. електрична, електронна та автоматична підсистема, з електричною та електронною підсистемою для спрацьовування та контролю роботи підставки і з підсистемою датчиків і перетворювачів для параметрів моніторингу, рис. 1.6. (g);

8. показані інформаційні та керуючі підсистеми для моніторингу та контролю роботи стенду рис. 2 (g);

Перші шість модулів представляють механічно-гідропневматичну підсистему випробувального стенда, що, в залежності від електронної підсистеми та інформаційної та керуючої підсистем, створити типову структуру однієї мехатронної системи, (Maties, 1998) [5].

Основні модулі метронного тестового стенда представлені рис. 1.6.

Стенд дозволяє провести тестування в області гідростатичних передач з метою оптимізації їх функціонально та для підвищення їх енергоефективності. Підставка підходить для поворотних гідростатичні передач, із системами

відновлення енергії або без них, які є частиною нерухомих (промислове) та мобільне (буксирувані транспортні засоби та транспортні засоби) обладнання, включаючи їх підсистем, для функціональних випробувань та встановлення параметрів продуктивності.



Рис. 1.4. Мехатронний стенд для тестування системи відновлення кінетичної енергії - огляд.



Рис. 1.5. Мехатронний стенд для тестування системи відновлення кінетичної енергії - фронтальний вигляд.



a) гідромеханічний модуль випробувальної мехатронної системи



б) тестовий модуль



с) модуль електронасоса



д) модуль прискорення



е) акумулятор



ф) гідравлічна станція



г) електронна підсистема автоматизації



h) керуючі підсистеми

Рис. 1.6. Основні модулі мехатронного тесту [5]

1.2.4. Тестування динамічної поведінки гібридних автотранспортних засобів за допомогою імітаційної мережі в режимі реального часу

Проаналізовану систему вивчали як за допомогою традиційних методів математичного моделювання, так і чисельного моделювання, а також за допомогою гібридних мереж ко-симуляції та моделювання в реальному часі (Іон Гута, 2008).

Для перевірки динамічної поведінки гібридних автотранспортних засобів за допомогою імітаційної мережі в режимі реального часу необхідно зробити це в два етапи. Для розробки моделювання в режимі реального часу першим кроком є створення підсистеми спільного моделювання, яка буде представлена у наступній підрозділі. На другому кроці будуть використовуватися гібридні тренажери, які з точки зору інформації з'єднують математичні моделі та компоненти фізичних систем.

1.2.5. Створення підсистеми спільного моделювання

Для створення мереж спільного моделювання були використані представлені вище моделі, розроблені за допомогою програмного забезпечення AMESim (LMS IMAGINE SA, 2009). Вони були поєднані з імітаційним наглядом додатком, розробленим авторами цієї роботи за допомогою мови програмування LabVIEW (LabVIEW, 1993). Це був перший крок для розробки програми моделювання в реальному часі, представленого в експериментальному розділі цієї роботи. При цьому модель процесу поєднується з додатком, розробленим в LabVIEW і завантажується на промисловий комп'ютер NI PXI, через процес зв'язку, що передбачає обмін пам'яттю (спільна пам'ять). Для зв'язку між двома системами також можна використовувати сокети TCP / IP або протокол TCP / IP.

Додаток, розроблений з використанням мови LabVIEW, показаний на рис. 1.7 (а), має інтерфейс оператора, який дозволяє керувати процесом

моделювання та візуалізувати дані, отримані під час моделювання, рис. 1. 7 (б). Додаток містить компонент автоматизації, який управляє гідростатичним обладнанням в рамках імітаційної мережі, регулюючи ємність гідростатичного блоку, відкриваючи та закриваючи керуючі клапани спрямованості, що містяться в гідростатичній підсистемі.

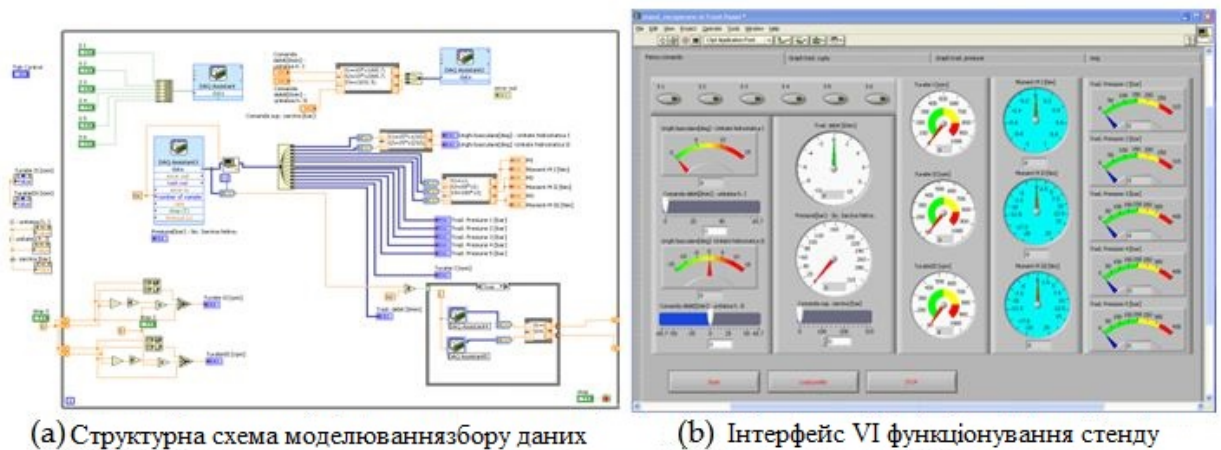


Рис. 1.7. Додаток розроблено мовою LabVIEW [6]

1.2.6. Основні висновки рекуперативної моделі відновлення кінетичної енергії розробленої в Технічному Університеті, Іасі

Враховуючи необхідність пошуку альтернативного рішення для зменшення споживання викопних копалин, які зараз знаходяться у виснаженні, та зменшення негативного впливу викидів на навколишнє середовище, виробники транспортних засобів зазначили, що ефективним рішенням може стати розвиток гібридних силових установок, зокрема, ті регенеративні системи приводу, які можуть відновлювати частину кінетичної енергії транспортного засобу, накопичену перед гальмуванням.

У цьому контексті в цій главі представлені деякі специфічні проблеми, що стосуються складності гібридних приводних систем дорожніх транспортних засобів, і вказується, що, дійсно, це нова область, яка підходить для застосування мехатроніки, де це єдина технологія, здатна контролювати, керувати та оптимізувати перехідні режими, характерні для цієї системи.

Розглядаючи проблему відновлення кінетичної енергії, коли дорожні транспортні засоби гальмуються, автори досягли автоматично та питання про гібридні приводні системи, і вони отримали о хороший теоретичний та практичний досвід, про який йдеться у цій главі та який може бути точковим початком для інших досліджень.

У першій частині в статті представлена загальна проблема систем рекуперації енергії та зроблена коротка презентація однієї рум'яної механічної гідравлічної системи відновлення енергії, яка перетворює один моторний транспортний засіб, де він реалізований, у автомобіль з гібридною системою приводу, включаючи основні модулі системи.

Складність питань, необхідних гібридній системі приводу з рекуперацією енергії, наклала, з одного боку, вибір такої мехатронної технології, як модальність для задуму та проектування, а з іншого боку, призвела до проектування та виготовлення стенда для випробування системи відновлення кінетичної енергії, стенд якої представлений у другій частині розділу. Також представлені деякі графічні результати, отримані за допомогою моделювання в реальному часі, цієї нової дослідницької технології, яка використовується іншими дослідниками, що передбачає одночасне використання математичної моделі та фізичної частини досліджуваної системи. Отримані графічні результати підтверджують, як правило, попередні теоретичні результати.

У цій главі представлена та продемонстрована можливість проектування, виготовлення та впровадження систем рекуперації енергії на середніх та важких дорожніх автомобілях з метою підвищення енергоефективності. Рішення дозволяє проводити екстраполяцію на транспортні засоби різних розмірів, і їх можна встановлювати на нових автомобілях, а також на старих автомобілях в рамках реабілітації. На ринку доступні гідравлічні та електричні компоненти

Крім того, підрозділ демонструє, що єдиною технологією, яка може керувати та контролювати системи рекуперації енергії, особливо гібридних силових установок, є мехатроніка.

1.3. Теплообмінники повітря

Кожен, хто бажає обігріти одну кімнату або взагалі цілу будівлю, потребує значної теплової енергії. Більше того, кожен, хто бажає охолодити приміщення в теплом або вологому регіоні світу, витратить ще більше енергії.

Однак інтелектуальна технологія дозволяє відновлювати до 90% цієї енергії та використовувати її для економії. Все завдяки дії теплообмінників. Ці пристрої можуть функціонувати на різних принципах, таких як регенерація та відновлення.

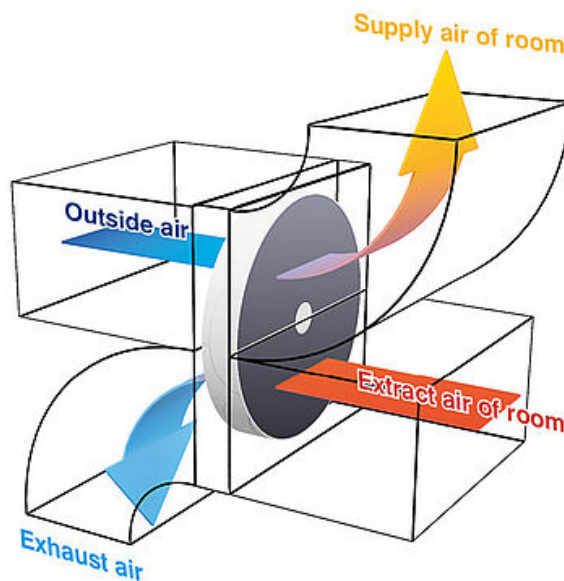


Рис. 1.8. Напрямки потоку повітря у системі вентиляції та відсмоктування [7]

Теплообмінник повітря у системі вентиляції та відсмоктування (рис. 1.8). Тут, на межі між вихлопним і подаючим повітрям, теплообмінник може передавати тепло або холодну енергію з відпрацьованого повітря в повітря, що подається.

При відновленні енергії - часто її називають просто рекуперацією тепла - тепло (або прохолода) внутрішнього простору робиться багаторазовим. Тепло і холод - це різні позначення теплової енергії.

Припустимо, що ваша будівля обладнана системою вентиляції та відсмоктування. Це означає, що у вас є два активних та окремих повітряних потоку. Один втягує зовнішнє повітря в будівлю (подає повітря), а інший втягує повітря приміщення (зовнішнє повітря).

Розрізняють зимову та літню експлуатацію. Взимку канал вихлопного повітря виводить повітря, яке використовується, а також тепле повітря з будівлі. Свіже нове повітря надходить через канал подачі повітря.

Влітку відбувається зворотнє: тепер охолоджений, але використаний повітря витікає через охолоджуючий пристрій. Подаче повітря тепле, але невикористане.

Ви можете використовувати різницю температури і вологості, щоб відновити тепло або прохолоду приміщення залежно від пори року.

Теплообмінники набувають використання в інтерфейсі між повітряними потоками. Теплообмінник передає більшу частину теплової енергії з відпрацьованого повітря в повітря, що подається.

Взимку прохолодне подається повітря, а влітку тепле подаче повітря. Тепло або холод відбираються таким чином з відпрацьованого повітря. Використовувані теплові енергетичні провідники - це звичайно фольги або пластини з алюмінію або спеціального пластику.

Klingenburg виробляє пластинчасті теплообмінники та обертові теплообмінники для відновлення енергії всіх розмірів приміщення та для всіх застосувань, від однокімнатної квартири до виробничого залу, від лікарень до центрів обробки даних до круїзних суден.

Пластинчасті теплообмінники працюють за принципом відновлення, тоді як обертові теплообмінники використовують принцип регенерації.

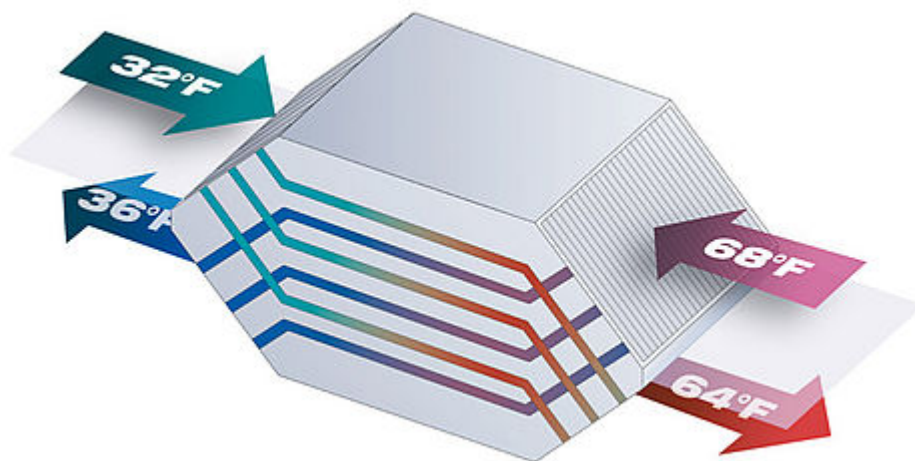


Рис. 1.9. Пластинчасті теплообмінники [7]

У пластинчастому теплообміннику (рис. 1.9), в нашому прикладі пластинчастому теплообміннику проточного потоку, тонкі пластини з алюмінію або пластику укладені всередині пристрою. Відступи в тарілках забезпечують проміжки, через які протікає подаче та витяжне повітря.

Кожен зазор, що містить подаче повітря, суміжний з таким, що містить відпрацьоване повітря, щоб тепла енергія переходила пластини від одного повітряного потоку до іншого. Це відбувається за принципом оздоровлення.

У рекупераційних системах не відбувається змішування потоків подачі та вихлопу, що робить пластинчасті теплообмінники придатними для будівель, де потрібна максимальна чистота та гігієна, наприклад, лікарень. Ці агрегати доступні як теплообмінники, так і проточні пластини.

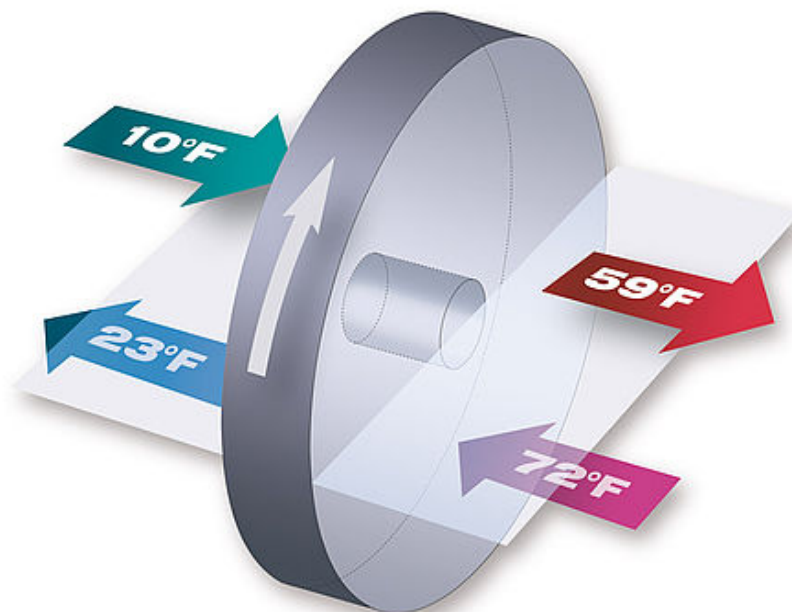


Рис. 1.10. Роторний теплообмінник [7]

Роторний теплообмінник (рис. 1.10) працює за принципом регенерації. Тут накопичувальна маса, що нагадує соти, в алюмінії забезпечує осьові канали, по яких протікає подаче та витяжне повітря. Після половинного обертання теплового колеса алюмінієва фольга збирає і передає теплову енергію відпрацьованого повітря в повітряний потік.

На відміну від пластинчастих теплообмінників, у цій системі два повітряні потоки не є герметично ізольованими. Оскільки температура накопичувальної маси алюмінію постійно змінюється, цей процес характеризується як регенеративне відновлення тепла.

Поворотні теплообмінники можуть мати діаметр до восьми метрів. Вони обробляють дуже великий об'єм повітря, що робить їх ідеальними для великих будівель, таких як фабрики та офісні комплекси.

На відміну від пластинчастих теплообмінників, вони також мають перевагу в передачі вологості, а також чутливого тепла.

1.4. Система рекуперації кінетичної енергії в енергію стиснутого повітря для транспортних засобів

Автором раніше розглянуто систему рекуперації кінетичної енергії в енергію стиснутого повітря для транспортних засобів [використано з «Деремед В.С. Система рекуперації кінетичної енергії в енергію стиснутого повітря для транспортних засобів / В.С. Деремед, О.С. Галецький // тези доповіді Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «інновації молоді - машинобудуванню» // Київ – 2018»]

Рекуперація пневматичної енергії у системах застосовується коли необхідно отримати високу швидкість системи при середніх потужностях машин. Однак, суттєвим недоліком є те, що стиснуте повітря у транспортних засобах досить дороге для використання. Системи пневматичної рекуперації наразі мало поширені навіть у машинах з пневматичним приводом.

Одним з доцільних варіантів підвищення загального ККД існуючих тягових транспортів та составів, а також залізнодорожних тягових пасажирських вагонів є введення у конструкцію додаткового модуля, що буде, під час, гальмування накопичувати енергію у вигляді стиснутого повітря в ресивери. Далі за необхідності стиснуте повітря може використовуватися для живлення бортової пневматичної мережі, що забезпечить зменшення потреби у необхідності вмикання компресора, що живить пневматичну мережу.

Відома блок-схема (рис. 1.11) взаємодії модулів системи рекуперативного гальмування додатково оснащується мехатронною системою контролю режимів роботи тягових електродвигунів. При режимі гальмування через редуктор колісної пари приводиться в дію компресор високого тиску і через систему контролю та розподілення наповнює стиснутим повітрям ресивери. При цьому частина стиснутого повітря, через редукційну систему клапанів, потрапляє до ресиверів низького тиску, заповнення, яких є пріоритетним.

При режимі розгону (зрушенні з місця), якщо ресивери високого тиску достатньо заповненні, компресор через редуктор колісної пари в режимі

роботи пневмомотора створює додатковий крутний момент для початку руху. При режимі сталого руху модуль рекуперативного гальмування фізично розмикається від редуктора колісної пари фрикційною муфтою.

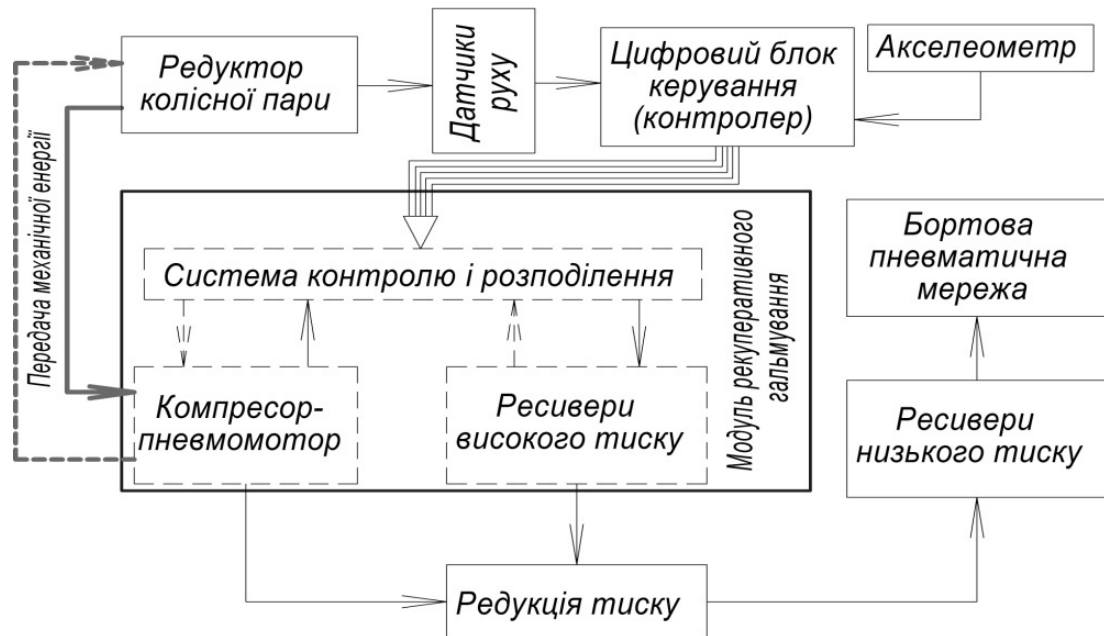


Рис. 1.11. Блок-схема взаємодії модулів системи рекуперативного гальмування [8]

Таким чином відома компоновка модуля рекуперативного гальмування теоретично дозволить накопичувати енергію у вигляді стиснутого повітря і надалі використовувати її для потреб пневматичних систем низького тиску. В свою чергу застосування, складнішого по конструкції, компресора, що може працювати і в режимі пневматичного двигуна та ресиверів високого тиску також дозволить частково зменшити навантаження на тягові двигуни при зрушенні потягу. Все це дозволить зменшити витрати електроенергії при зрушенні потягу, на ввімкнення компресору низького тиску та витрати на обслуговування гальмівної системи і тягових електродвигунів.

Для створення модуля рекуперативного гальмування потрібно забезпечити початкове навантаження на систему та постійне прискорення

гальмування, для створення початкового моменту застосуємо варіатор, щоб забезпечити потрібний момент та оберти на початку гальмування.

Навантажимо систему допоміжним ресивером та розробимо клапан різниці тисків, для стабільної роботи системи.

Розглянемо рух транспортного засобу на різних етапах. На графіку представлено залежності швидкості 1, моменту гальмування 2, рушійного моменту 3 та тиску в керуванні рекупераційною системою 4 від часу (рис. 1.12).

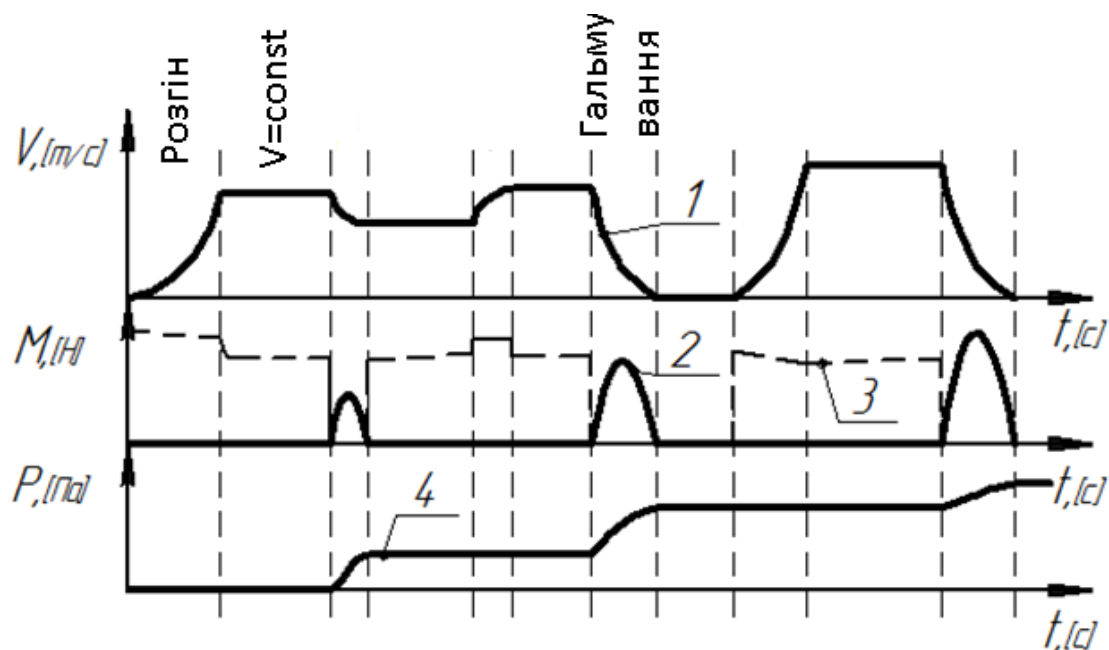


Рис. 1.12. Імовірний графік руху транспортного засобу

(1 - залежність швидкості; 2 - момент гальмування; 3 - рушійний момент; 4 - тиск) [8]

На етапі розгону транспорту, його рушійний момент різко зростає та потроху спадає так як потрібен початковий поштовх для зрушення транспортного засобу, в цей же час момент гальмування та тиск в рекупераційній системі незадіяний.

На етапі постійного руху - рухаємось з однаковою швидкістю тому на графіку швидкості пряма, підтримуємо рушійний момент на значно менших оборотах, момент гальмування та тиск стабільні.

На етапі гальмування - уповільнюємось як видно на 1-му графіку, рушійний момент зникає, а гальмівний зростає по квадратичній залежності, вмикаємо модуль рекуперації енергії, починає працювати компресор, та накопичуємо певний тиск.

При подальших зупинках можемо накопичувати значно менше тиску, так як створюється супротив з ресивера на магістраль з компресора [8].

Проведемо теоретичний розрахунок ефективної енергії взявши до уваги електровози, прийнявши швидкість $V=60$ км/год, масу $m=10$ т, КПД компресора $\eta_{\text{комп}} = 0.3$, КПД пневмодвигуна $\eta_{\text{дв}} = 0.4$

Знаходимо кінетичну енергію рухомого складу:

$$E_{\text{кнет}} = \frac{m \cdot v^2}{2} = 18 \text{ МВт}$$

Щоб розрахувати енергію стиснутого повітря:

$$E_{\text{стпов}} = E_{\text{кнет}} \cdot \eta_{\text{комп}} = 5.4 \text{ МВт}$$

Звідси знаходимо ефективну енергію:

$$E_{\text{еф}} = E_{\text{стпов}} \cdot \eta_{\text{дв}} = 2.16 \text{ МВт}$$

$$E_{\text{еф}} = \frac{216 \cdot 100}{18} = 12\%$$

Проведемо розрахунок одноступінчастого двоциліндрового компресора подвійної дії на споживану потужність компресора та величину роботи.

Вхідні данні:

Одноступінчатий двоциліндровий компресор подвійної дії має поршні з діаметром $d = 0,6$ м, величина ходу яких становить $s = 0,5$ м, а величина шкідливого простору $z = 0,036$. Вал компресора обертається зі швидкістю $n = 180$ об / хв. Повітря при температурі $t = 200$ в компресорі зазнає стиснення від тиску $P_1 = 0,1$ мПа, до $P_2 = 0,5$ мПа. При розрахунках прийняти показник політропи m рівним 1,2, а механічний $\eta_{\text{мех}}$ і адіабатичний $\eta_{\text{ад}}$ ККД взяти рівними 0,95 і 0,85 відповідно.

Щоб розрахувати споживану потужність компресора, попередньо необхідно обчислити величину роботи, яка повинна бути витрачена на стиснення газу. Для цього скористаємося наступною формулою:

$$A_{\text{сж}} = \frac{k}{(k-1) \cdot R \cdot t \cdot \left[\frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)}}{k-1} \right]}$$

У цій формулі k - показник адіабати, який дорівнює відношенню теплоємності при постійному тиску до теплоємності при постійному обсязі ($k = C_{PP} / C_V$), і для повітря цей показник дорівнює 1,4. R - газова постійна, рівна $8310 / M$ Дж / (кг * К), де M - молярна маса газу. У разі повітря M береться рівній 29 г / моль, тоді $R = 8310/29 = 286,6$ Дж / (кг * К).

Підставимо отримані значення в формулу роботи зі стиснення і знайдемо її значення:

$$\begin{aligned} A_{\text{сж}} &= \frac{k}{(k-1) \cdot R \cdot t \cdot \left[\frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)}}{k-1} \right]} = \frac{1.4}{(1.4-1) \cdot 266.6 \cdot (273+20) \cdot \left[\frac{\left(\frac{0.5}{0.1}\right)^{(1.4-1)}}{1.4-1} \right]} \\ &= 100523 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \end{aligned}$$

Після знаходження значення витрачається на стиснення повітря роботи стає можливим визначення споживаної компресором потужності за такою формулою:

$$N = \frac{G \cdot A_{\text{сж}}}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{ад}}} = \frac{2640 \cdot 100523}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 91,3 \text{ кВт}$$

Разом отримаємо, що витрата компресора становить 92,6 м³/ хв, а споживана потужність - 91,3 кВт

Таким чином теоретично в будь якій пневматичній системі існує надлишковий тиск, який не використовується, тому ми можемо перетворити його у інший вид енергії. За проведенням дослідом (Розрахунок ефективної енергії взявши до уваги електровози, прийнявши швидкість $V=60$ км/год, масу $m=10$ т, КПД компресора $\eta_{\text{комп}}=0.3$, КПД пневмодвигуна $\eta_{\text{дв}}=0.4$) при розрахункових даних виявили 12% надлишкової енергії $E_{\text{еф}}$, яку використаємо в майбутньому [8].

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕНЕРГІЮ СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ

2.1. Теоретичне підтвердження ефективності роботи модуля накопичення пневматичної енергії

Розглянемо модуль рекуперації механічної енергії в енергію стиснутого повітря для транспортних засобів [10], виявилось що такі модулі рекуперативного гальмування теоретично дозволить накопичувати енергію у вигляді пневматичної енергії і надалі використовувати його для потреб пневматичних систем низького тиску. Також використання, складнішого по конструкції, компресора, що зможе працювати і в режимі пневматичного двигуна та ресиверів низького тиску дозволить частково зменшити навантаження на двигуни при зрушенні потягу та придасть початкову інерцію.

Використовуючи наступні данні (накопичена енергія складе 33680Дж, але можливе повторне використання 21000Дж, що складає 8,95% від енергії затраченої від зрушення транспортного засобу), зробили висновок, що в будь якій машині яка рухається, накопичена кінетична енергія, у 94% це енергія перетворення в теплову з подальшим її розсіюванням в простір. Запропоновано ввести модуль переробки кінетичної енергії в енергію стиснутого повітря. Попередній розрахунок показав ефективність запропонованої системи не більше 8,5% від енергії яка була затрачена для зрушення даної машини [11].

Для модуля накопичення енергії стиснутого повітря розроблено розподільник 3/2, що включає в себе клапан тиску, що має можливість контролювати тиск в пневматичній лінії перед клапаном тиску, це дозволяє в модулі пневматичної енергії повітря (рис. 2.1) забезпечити постійне навантаження в момент гальмування осей привідних коліс.

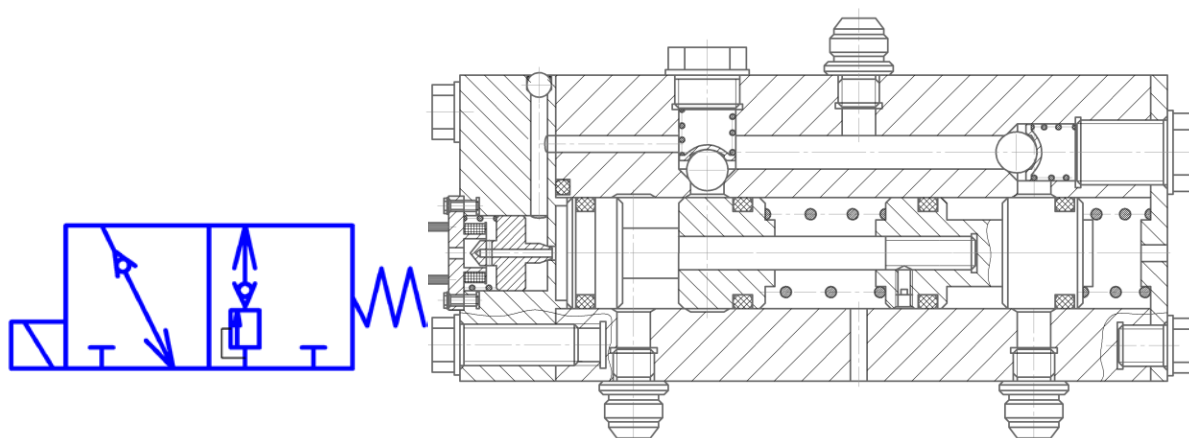


Рис. 2.1. Пневматичний розподільник із прохідним клапаном тиску

В вихідному положенні пневматична енергія подається на клапан тиску, що реалізовано разом з циліндричним золотником. Регулювання ступеню навантаження реалізується шляхом невеликої відстані від компресора та розміщенню клапана тиску на золотнику пневморозподільника. При переключенні розподільника, накопичене стиснуте повітря з ресивері подається в пневматичну мережу [11].

Застосування запропонованого пневморозподільника у модулі суттєво зменшить кількість елементів в системі модуля, його розміри, та здешевить його, за рахунок зменшення допоміжних деталей для різкого збільшення навантаження на осях привідних коліс (рис. 2.2).

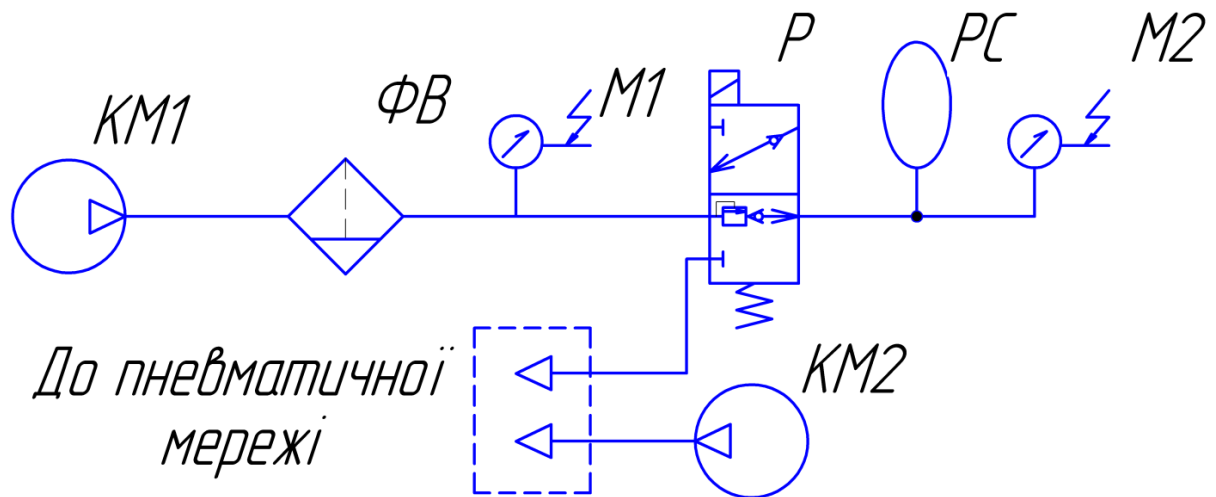


Рис. 2.2. Модуль системи рекуперації стиснутого повітря для подальшого застосування

(KM1, KM2 - компресор, ФВ – фільтр вологовідділювач, P – розподільник, M1, M2– манометр, PC – ресивер)

Система працює таким чином: накопичена пневматична енергія від компресору, надходить у ресивер, через розподільник 3/2 з клапаном тиску. Свою чергу він надає початкове зусилля, тобто магістраль від компресора до входу у розподільник завжди буде з малим початковим тиском. Це забезпечує постійне навантаження на валу компресора. При використанні накопиченої пневматичної енергії перемикається розподільник 3/2 і з ресивера стиснуте повітря подається у бортову мережу транспортного засобу.

Експериментальний стенд (рис. 2.3) зроблений для практичного вирішення задач повторного застосування енергії в пневматичних системах. Робота стенду полягає в тому щоб перетворювати кінетичну енергію руху і роботу системи рекуперації в енергії стиснутого повітря бортової мережі.

Розробка стенду який досліджує ефективність роботи системи перетворення кінетичної енергії в енергію стиснутого повітря представлений та являє собою суміщення гідравлічної та пневматичної систем. Гідравлічна схема являє собою: насосну станцію, гідромотор, 3 манометра, зворотний клапан, кран, витратомір, фільтри тонкої та грубої очистки.

Аспект гальмування реалізовано за допомогою навантаження гідромотору, який закріплений електромуфтою з компресором, змінюючи оберти гідромотора змінюємо роботу компресора.

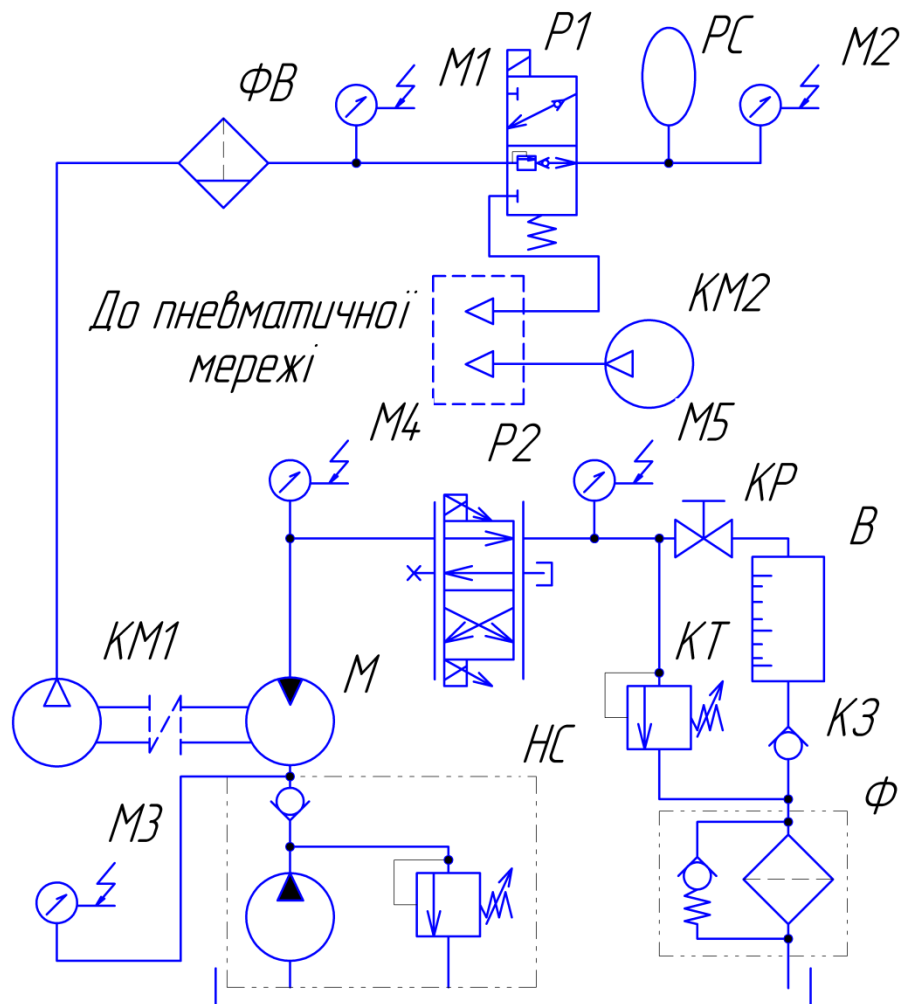


Рис. 2.3. Стенд для дослідження ефективності системи перетворення кінетичної енергії в пневматичну енергію [11]

(KM1– компресор, KM2 – компресор мобільної машини, ФВ – фільтр вологовідділювач, P1- пневматичний розподільник 2/3 з клапаном тиску, P2 – гідравлічний розподільник 2/4 з пропорційним керуванням, M1 – M5 – манометр, PC – ресивер, HC- насосна станція, M – мотор, KT – клапан тиску, KP – кран, K3 – клапан зворотній, Ф – фільтр, B – резервуар)

Експериментальний стенд розроблено з: компресора системи накопичення пневматичної енергії KM1, компресор мобільної машини KM2,

фільтр вологовідділювач ФВ, пневматичний розподільник 2/3 з клапаном тиску Р1, гідравлічний розподільник 2/4 з пропорційним керуванням Р2, манометр М1 – М5, ресивер РС, насосна станція НС, мотор М, клапан тиску КТ, кран КР, зворотній клапан КЗ, фільтр Ф, резервуар В.

Гідравлічна частина показує процес гальмування, за допомогою гідравлічного розподільника 2/4 з пропорційним керуванням, який подає рідину в бак, а іншу частину по системі в подальшому на клапан тиску, за допомогою якого змінюємо тиск в системі накопичення енергії стиснутого повітря та задається навантаження на гідромоторі змінюючи його частоту обертання.

Для ознайомлення теоретичних розрахунків зверніться до Бакалаврської дипломної роботи Деремеда В.С. [11].

2.2. Розробка електропневматичної схеми лабораторного стенда з модулем системи накопичення стиснутого повітря

Стенд повинен забезпечити наступні види випробувань:

- динамічні випробування пневматичного поршневого приводу односторонньої та двосторонньої дії в різних робочих тисках, статичних навантаженнях різних інерційних мас;
- динамічні випробування пневматичного поршневого приводу при регулюванні за допомогою швидкості при гальмуванні за допомогою гальмівного золотника;
- динамічні випробування пневматичного поршневого приводу при різних швидкостях та гальмуванні за допомогою системи накопичення пневматичної енергії.

Система рекуперації пневматичної енергії повинна складатися з блоку створення попереднього гальмівного навантаження, блоку системи накопичення пневматичної енергії, блоку комутації, повторного використання

пневматичної енергії та блок забезпечення режимів швидкісного руху підводу [11].

Також лабораторний стенд зроблено з: пневмоциліндра двосторонньої дії ПЦ та гідроциліндра односторонньої дії ГЦ [12]. Пневматична енергія проходить з магістралі через клапан К1 до вентиля В2, потім до вентиля підключений клапан К2 через який підводиться стиснуте повітря з ресивера РС, після вентиля В2 розміщено блок підготовки повітря, що містить в собі фільтр вологовідділювач Ф1, масло-розпилювач МР та регулятор тиску РТ, яким визначає потрібний тиск, щоб контролювати його манометром М1. Потім повітря підводиться із заданим тиском до розподільника Р6 з одностороннім електро-пневматичним керуванням. При увімкненому електромагнітні золотник перемикає повітророзподільник вправо і повітря проходить в робочу порожнину циліндра А. На лінії нагнітання встановлений дросель Др1, який дозволяє встановити змювати дросельні шайби [11].

Шток пневмоциліндра працює сумісно з лінійкою Л, на якій встановлений копір КП, яких перемикає гальмівний золотник ГЗ. Статичне навантаження утворюється тиском робочої рідини в порожнині В гідроциліндра. Загалом тиск контролюється манометром М3. Для роботи гідросистеми використовується насосна установка Н. При розподільнику у лівому положенні Р4 тиск у трубопроводі перешкоджає клапан тиску КТ3. При відкритті розподільника Р4 тиск в порожнині В гідроциліндра управляється клапаном тиску КТ2. Шток гідроциліндра виконаний у вигляді рейки, що входить у зачеплення з шестернею. Вал шестерні зафіксовано на підшипниках і на одному його кінці консольною встановлює набір дисків маховика М, за допомогою якого можна змінювати навантаження приводу. Штоки циліндрів пов'язані динамометром Д [12].

Також порожнина Б циліндра пов'язана системою накопичення пневматичної енергії, що включає в себе клапани К2, К3, К4, К5. Редукційний клапан КТ1 та зворотні клапана ЗК1, ЗК2, ЗК3. Ця система (рис. 2.4) може працювати в трьох режимах.

Перший режим – являю собою швидкий відвід повітря шляхом перемикавання клапану К5 в якому тиск надходить до блоків клапанів Р1, Р2, Р3 з електро-управлінням, а у відгалуження гальмівний золотник ГЗ та пристрій яким встановлюється зміни дросельних шайб Др2. Вихід розподільника Р6 розташований сумісно з порожниною Б через дросельний пристрій Др2 і клапан Р2, в цьому випадку порожнина сполучається з навколишнім середовищем, через клапан Р1. Тиск у порожнині Б услідкується манометром М2.

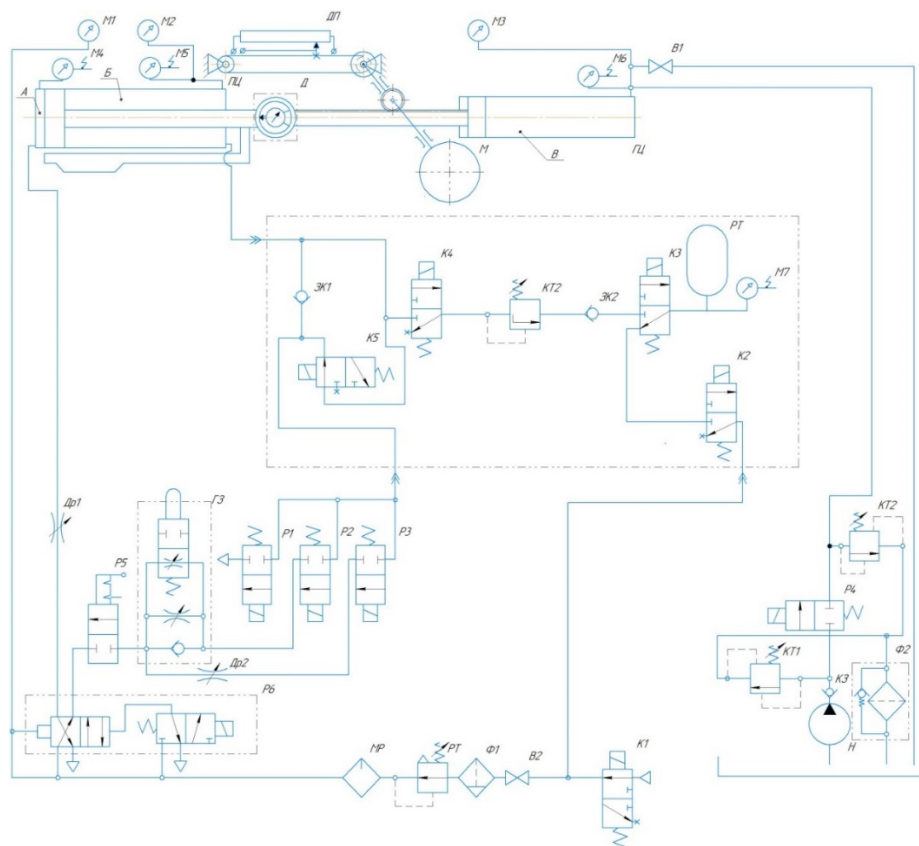


Рис. 2.4. Схема лабораторного стенда для дослідження поршневого пневмопривода із системою накопичення пневматичної енергії

Другий режим – являє собою гальмування з накопиченням пневматичної енергії (далі режим гальмування), кінетична енергія руху перетворюється в пневматичну енергію. В цьому режимі гальмування стиснуте повітря з порожнини Б з'єднано з клапаном К4, після перемикавання клапану повітря

надходить до клапану тиску КТ1 при цьому клапан КТ1 забезпечує постійний тиск в порожнині Б пневмоциліндра величина якого дає змогу регулювати плавність гальмування штоку пневмоциліндра в великому діапазоні. В роботі клапану тиску КТ1 повітря проходить через клапан зворотній КЗ до клапану К3, який передусім з'єднаний з ресивером РС таким чином накопичення стиснутого повітря продовжується в циклічній роботі системи до моменту, що запрограмований у контролері. Таким чином йде накопичення пневматичної енергії із штокової камери пневмоциліндра в ресивер РС. При досягненні потрібного тиску в ресивері, його можна використовувати, для реалізації зворотного ходу пневмоциліндра. При використанні накопиченого стиснутого повітря потрібно вимкнути клапана КЗ і К1 та, в протилежній фазі, увімкнути клапан К2, це дасть змогу стиснутому повітрю з ресивера безпосередньо потрапляти до вентилу В2, який проходить підготовку та виконає корисну роботу [12].

2.4. Робота системи накопичення стиснутого повітря

Модуль рекуперації працює наступним чином: порожнина Б пневмоциліндра сумісна з системою накопичення пневматичної енергії, яка зроблена з клапанів К2, К3, К4, К5, фільтра вологовідділювач Ф3 редукційного клапану КТ1 та клапанів зворотних ЗК1, ЗК2, ЗК3. Така система зможе працювати в трьох режимах. Перший режим - це швидкий відвід енергії стиснутого повітря шляхом перемикавання клапану К5 тиск надходить в блок клапанів Р1, Р2, Р3 з електро-управлінням, а у відгалуження гальмівний золотник ГЗ та пристрій що дає змогу змінювати дросельні шайби Др2. Вихід розподільника Р6 пов'язаний з порожниною Б через дросель Др2 і клапан Р2, якщо перекривається, то порожнина в цьому випадку сполучається з навколишнім середовищем, через клапан Р1. Тиск у порожнині Б усліджується манометром М2. Другий режим – це гальмування при накопиченні пневматичної енергії стиснутого повітря (далі режим гальмування), кінетична енергія руху перетворюється в пневматичну енергію. В режимі гальмування

стиснуте повітря з порожнини Б з'єднано з клапаном К4, після перемикання клапану енергія потрапляє до клапану тиску КТ1 при цьому клапан КТ1 забезпечує постійний тиск в порожнині Б пневмоциліндра величина якого дозволяє контролювати плавність та інтенсивність гальмування штоку циліндра в великому діапазоні. При спрацюванні клапану тиску КТ1 повітря проходить через клапан зворотний К3 до клапану К3, який в свою чергу з'єднаний з ресивером РС і накопичення пневматичної енергії продовжується в циклічній роботі системи до моменту, який заданий у контролері. Таким чином накопичуємо стиснутого повітря із штокової камери циліндра в ресивер РС. Третій режим роботи реалізовано при досягненні первинного тиску в ресивері, який використовується в даній системі, для забезпечення функції зворотного ходу пневмоциліндра. При використанні накопиченого стиснутого повітря потрібно разом вимкнути клапани К3 і К1 та, ввімкнути клапан К2, таким чином стиснуте повітря з ресивера буде вільно потрапляти до вентиля В2, що дасть змогу проходити підготовку і виконувати корисну роботу накопиченого повітря [12].

Система накопичення пневматичної енергії включає в себе такі клапани К2, К3, К4, К5, редукційний клапан КТ1, ресивер Р, електро-датчик тиску М7 та клапани зворотні ЗК1, ЗК2, ЗК3. Така система має змогу працювати в трьох режимах:

- схема рекуперації не ввімкнена, стиснуте повітря не надходить до ресивера
- схема рекуперації ввімкнена, надходить повітря до ресивера
- повітря з ресивера надходить в магістраль живлення стенда

У першому режимі (рис. 2.5) стиснуте повітря із штокової порожнини циліндра ПЦ надходить до системи рекуперації А.

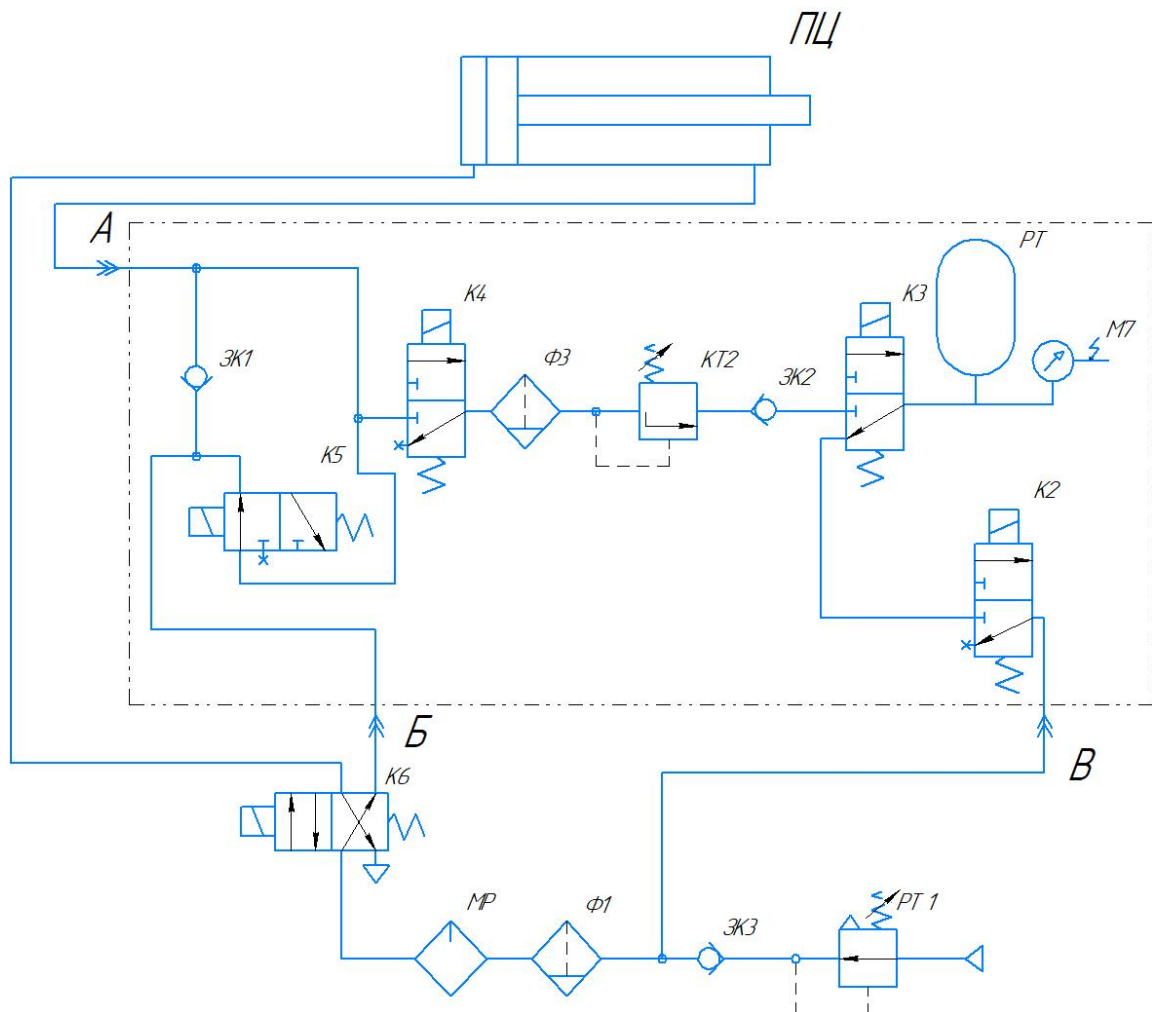


Рис. 2.5. Схема 1-го режиму роботи системи накопичення стиснутого повітря

Магніти на клапанах К2, К3, К4 вимкнені, а магніт на клапані К5 увімкнено, повітря проходить через клапан К5 до виходу Б, далі до циліндру.

У другому режимі (рис. 2.6) пневматична енергія з штокової порожнини пневмоциліндра ПЦ проходить до входу в систему рекуперації А.

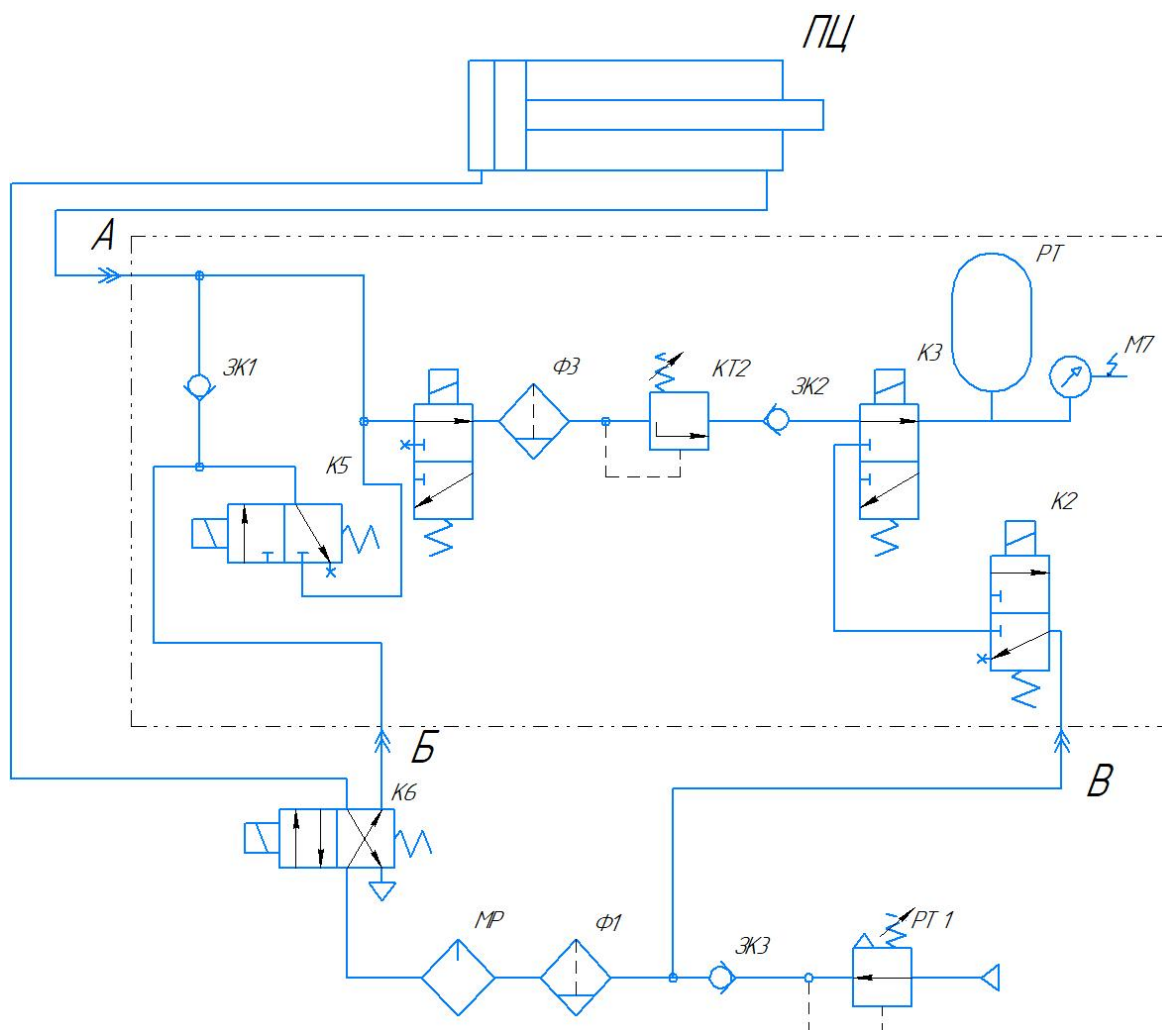


Рис. 2.6. Схема 2-го режиму роботи системи накопичення стиснутого повітря

Магніти на клапанах К2, К5 вимкнені, а магніти на клапанах К4, К3 ввімкнені. Пневматична енергія проходить через клапан К4 до редукційного клапану КТ1, через клапан зворотній ЗК2 проходить до клапану К3, де накопичення стиснутого повітря надходить в ресивер РТ.

У третьому режимі (рис. 2.7) робоча рідина з ресивера РС під тиском надходить до клапана К3.

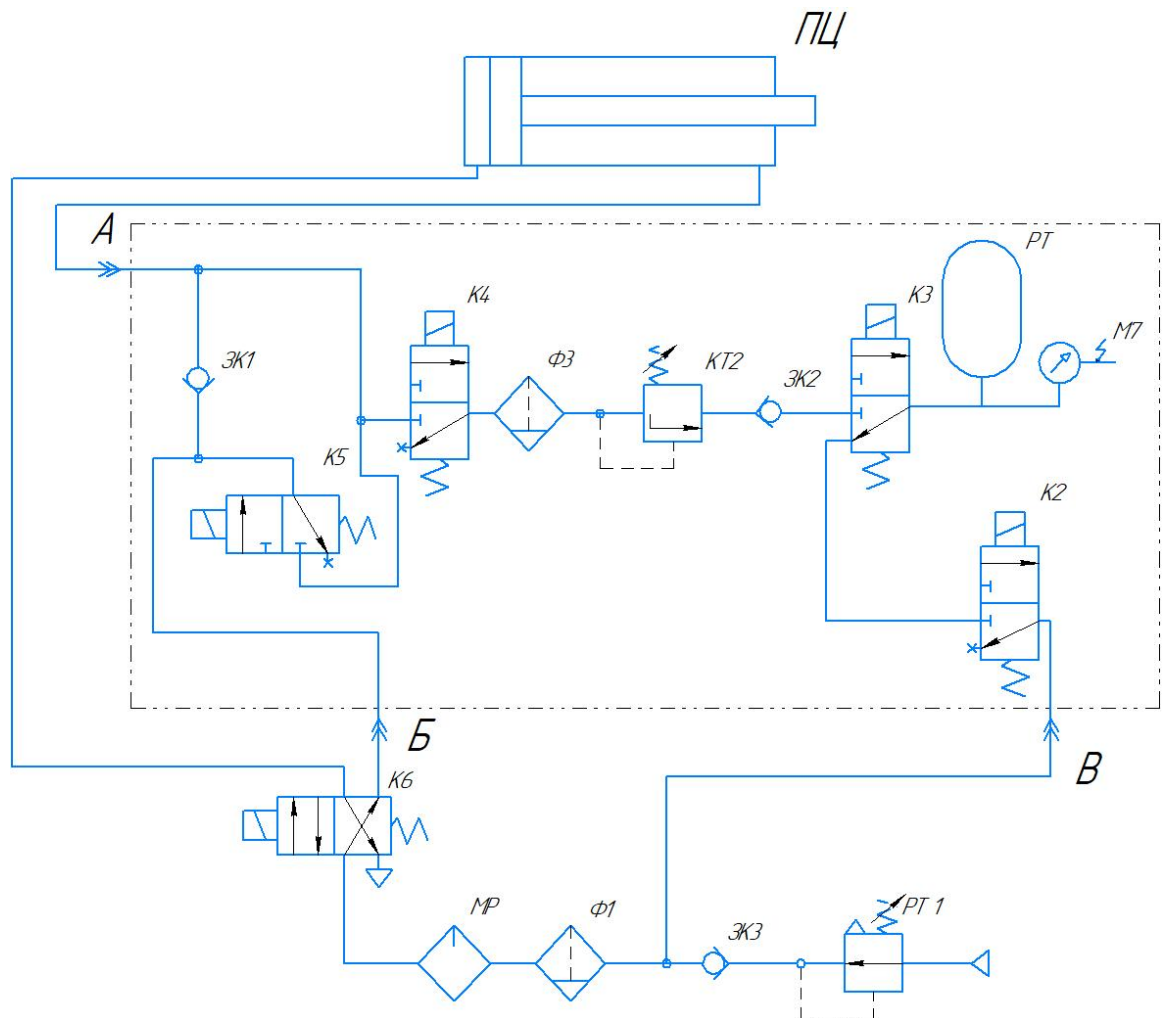


Рис. 2.7. Схема 3-го режиму роботи системи накопичення стиснутого повітря

Магніти на клапанах К5, К4 вимкнені, а магніти на клапанах К2, К3 ввімкнені, робоча рідина з ресивера РТ проходить через клапани К3, К2 до виходу з систему рекуперації В, який з'єднаний з магістраллю живлення стенда.

2.5. Розрахунок лабораторного стенду з модулем системи накопичення стиснутого повітря

Вже частково був проведений розрахунок лабораторного стенда в бакалаврській роботі Деремедя В.С., науковий керівний Галецький О.С., використовуючи дані уточнюємо розрахунок.

2.5.1. Статичний розрахунок приводу

Для проектування пневмоциліндрів проводимо статичний та динамічний розрахунок виконавчих та силових приладів. При статичному розрахунку знаходимо та обираємо конструктивні розміри. Для пневмоциліндра розраховуємо та обираємо діаметри циліндра D , діаметр штока d та діаметр d_y умовного перерізу приєднувальних отворів та трубопроводів. Вихідними даними для розрахунку приймаємо: початковий абсолютний тиск стиснутого повітря p_n , навантаження P_2 , довжина ходу пневмоциліндра S , маса приєднаних до нього рухомих частин m , розташування пневмоциліндра при роботі, час спрацювання та середня швидкість руху. Вони можуть доповнюватися такими даними: температурні умови роботи, які враховуються при виборі ущільнень та матеріалу, габаритних обмежень та інше [14].

Для транспортуючих частин пневмоциліндрів, де присутнє технологічне навантаження по всій довжині ходу, або якісь його частини, діаметр циліндру визначають по величині параметру навантаження χ_p (безрозмірного) при врахуванні сили тертя через коефіцієнт K_T :

$$D = 1,13 * \sqrt{\frac{P_2 \pm mg}{p_n * \chi_p (1 \mp K_T)}}.$$

де m – маса рухомих елементів, приєднаних до поршня. При проектному розрахунку маса поршня з штоком розраховуємо приблизно. Вага рухомих частин $\pm mg$ враховуємо при вертикальному або похилому розташуванні циліндру. В похилому розташуванні у розрахунок приймається лише його вертикальна складова. Тобто знак «+» ставиться тоді, як сила протидіє зменшує стискує зусилля [14].

Значення χ_p приймаємо в залежності від значення початкового тиску стиснутого повітря. $\chi_p = 0,6$.

Коефіцієнт K_T для циліндрів пневматичної дії з манжетним, ущільненням поршня обираємо в залежності від зазначеного зусилля. При $P_2=1,0$ кН,

$$K_T = 0,13.$$

$$p_m = 0,5 \text{ МПа} ;$$

$$D = 1,13 * \sqrt{\frac{1,0 * 10^3 + 100 * 9,8}{0,5 * 10^6 * 0,6 * (1 - 0,13)}} = 0,156 \text{ (м)}.$$

Обираємо діаметр поршня $D=160$ мм по ГОСТ 6540-62.

Діаметр штока знаходиться із співвідношення $d = (0.25..0.32)D$

Вибираємо $d=40$ мм по ГОСТ 6540-62.

Прохід приєднувальних отворів циліндру обираємо за співвідношенням $d_y \approx 0,1 \cdot D$. Такий умовний прохід мають підбираємо щоб приєднувальні приводи та встановлені на них елементи апаратури. Але, при виборі значення d_y необхідно враховувати довжину ходу поршня, та необхідну швидкодію приводу. При проектуванні заданий час спрацювання циліндру, що очікується $t_{оч}$, тоді:

$$d_y \cong D \sqrt{\frac{s}{w_{ср} t_{оч}}},$$

де $w_{\text{сер}} = 16$ м/сек середня швидкість потоку робочої рідини в привідній робочій лінії при наповненні робочої порожнини циліндру. Дійсний час спрацювання та роботи знаходиться при динамічному розрахунку [15].

$$d_y = 0,10 \sqrt{\frac{0,8}{17 \cdot 4,5}} = 0,010 \text{ м} = 10 \text{ мм}.$$

Обираємо $d_y = 10 \text{ мм}$

Вибір пневмопроводів та пневмоапаратури представлено у додатку А.

2.5.2. Діаграма роботи пневмоциліндра двосторонньої дії

На даній діаграмі (рис. 2.5) бачимо три графіка: переміщення поршня $x = f(t)$, зміну тиску у лівій порожнині пневмоциліндра $p_n = f(t)$, а в правій частині $p_n = f(t)$ [15].

В початковому положенні пневмоциліндра штокова камера з'єднана з живленням, поршнева – з навколишнім середовищем. Спочатку роботи приймемо момент подачі керуючого сигналу на переключення розподільника, в якому поршень виконує прямий хід (час прямого ходу t_{nx}). При можливому відстаю (технологічний час $t_{техн}$) поршень починає зворотній рух (час t_{zx}). Час повного циклу роботи $t_{ц} = t_{nx} + t_{техн} + t_{zx}$.

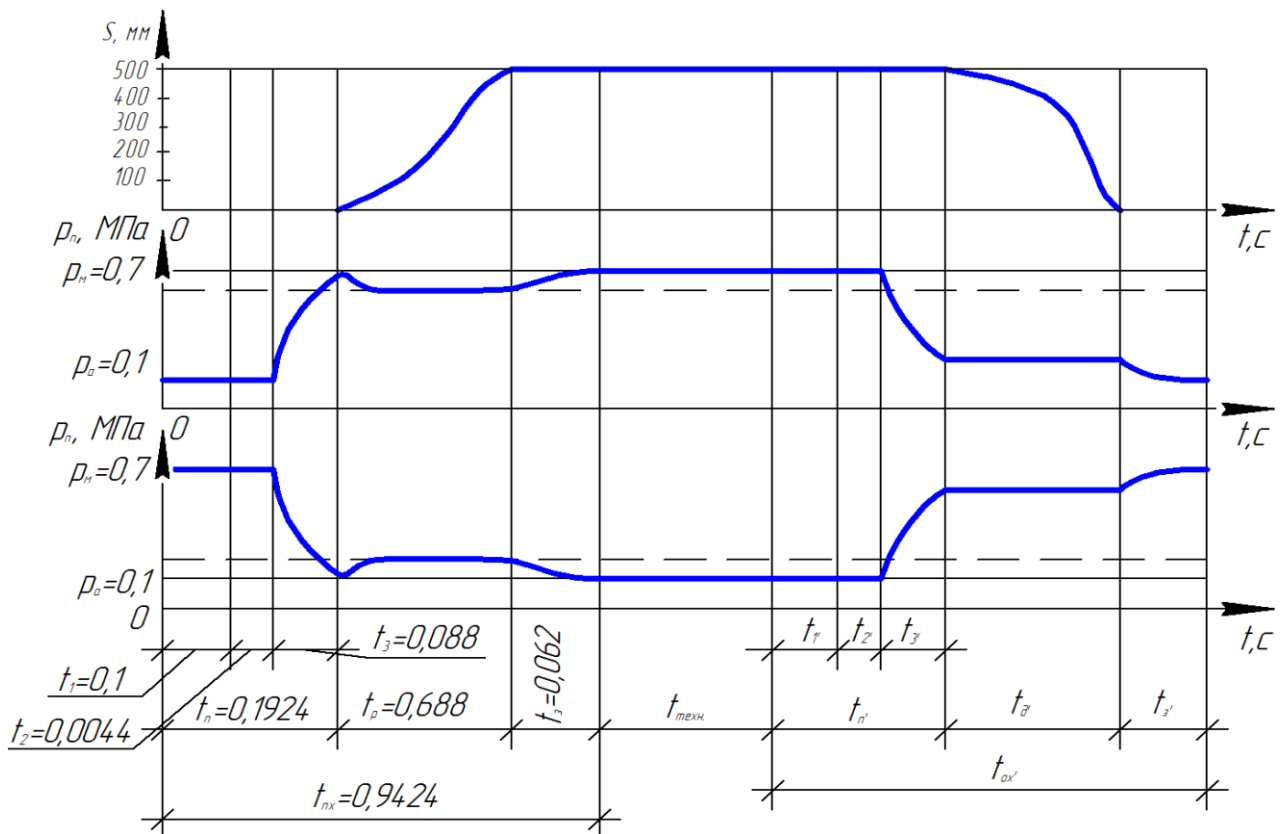


Рисунок 2.5. Діаграма повної роботи приводу двосторонньої дії

2.5.3. Розрахунок модуля системи накопичення стиснутого повітря

Ефективна площа підвідного трубопроводу f_e визначається з врахуванням його розмірів та характеру витрати встановлених апаратів по паспорту. Загалом використовуємо метод визначення коефіцієнта витрати m трубопроводу за рахунок коефіцієнта витрати z , що залежить від довжини трубопроводу за його діаметром. Так як пневмоапаратура, встановлена на лінії підвода робочої рідини, користуємося довідником, еквівалентні довжинами трубопроводу, що можна замінити при рахунку окремих елементів. [16]

Для розрахунку приймаємо:

- довжину трубопроводу $l_{m1} = 1,5 \text{ м}$;
- внутрішній діаметр трубопроводу $d_m = 0,01 \text{ м}$;
- еквівалентну довжину та умовної довжини пневмоапаратури:

- вологовідділювач - $l_1 = 6,5 \text{ м}$; $d_{y1} = 0,015 \text{ м}$;

- регулятор тиску - $l_{m1} = 6 \text{ м}$; $d_{y2} = 0,015 \text{ м}$;

- пневморозподільник - $l_{m1} = 4 \text{ м}$; $d_{y2} = 0,01 \text{ м}$;

Так як умовна довжина трубопроводів і пневмоапаратури відрізняються, то еквівалентна довжина трубопроводу та пневмоапаратури, які мають однакову умовну довжину складаються та визначаємо їх коефіцієнти витрат (рис. 2.6). Для апаратів з діаметром d_1 . [16]

$$\zeta_1 = \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot \frac{\sum_{i=0}^i l_i}{d_1} = \frac{1}{2} \cdot 0,025 \cdot \frac{9,9}{0,01} = 12,375.$$

де l_i - довжина першої ланки трубопроводу,

де $\lambda=0,03$ – коефіцієнт тертя для повітря,

При величині ζ_1 , використовуємо графік $\mu=f(\zeta)$ (рис. 2.6), знайдемо величину $\mu_1=0,4$.

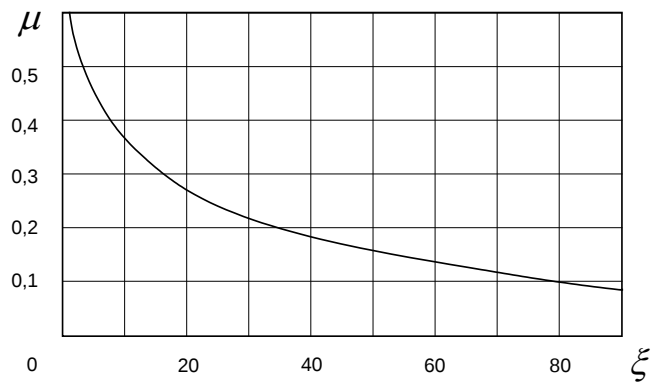


Рис. 2.6. Графік залежності $\mu=f(\zeta)$

$$f_{e1} = \mu_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = 0,03 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 2,355 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Для апаратів з діаметром d_2 маємо:

$$\zeta_2 = \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot \frac{\sum_{i=1}^i l_i}{d_2} = \frac{1}{2} \cdot 0,025 \cdot \frac{12}{0,015} = 10.$$

За графіком (рис.2.6) знаходимо коефіцієнт витрати μ_2 . Тоді шукана площа буде дорівнювати:

$$f_{e2} = \mu_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = 0,03 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,015^2}{4} = 8,831 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

При з'єднанні пневматичних апаратів послідовно, діаметри d_1 та d_2 дадуть ефективну площу, довжина лінії знаходиться з виразу: [16]

$$\frac{1}{f_e^2} = \frac{1}{f_{e1}^2} + \frac{1}{f_{e2}^2} = \frac{1}{2,355 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{8,831 \cdot 10^{-6}} = 0,13 \text{ м}^2$$

Розрахунок часу спрацювання, його порядок виглядає:

- Час спрацювання пневморозподільника обираємо $t_1 = 0,15 \text{ с}$.
- Час надходження тиску $t_2 = \frac{l_r}{a}$, де $a = 20\sqrt{T}$ - швидкість звуку в середовищі в м/с;

T - абсолютна температура робочої рідини в магістралі в $^{\circ}\text{К}$ (К - градуси Кельвіна).

- Величина навантаження (безрозмірного):

$$\chi = \frac{P_1 + P_2}{P_M F},$$

де $F = \frac{\pi D^2}{4}$ - площа поршня.

- Тиск на початку роботи:

$$\sigma_p = x + \sigma_a = x + P_a / P_m,$$

- Час наповнення порожнини до початку руху поршня циліндра:

$$t_{nan} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{V_0}{\mu f} [\psi_1(\sigma_p) - \psi_1(\sigma_a)],$$

де $V_0 = 100 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ - об'єм шкідливого простору;

$\psi_1(\sigma_p)$, $\psi_1(\sigma_a)$ - функції тиску, що визначаємо за графіком (рис. 2.8).

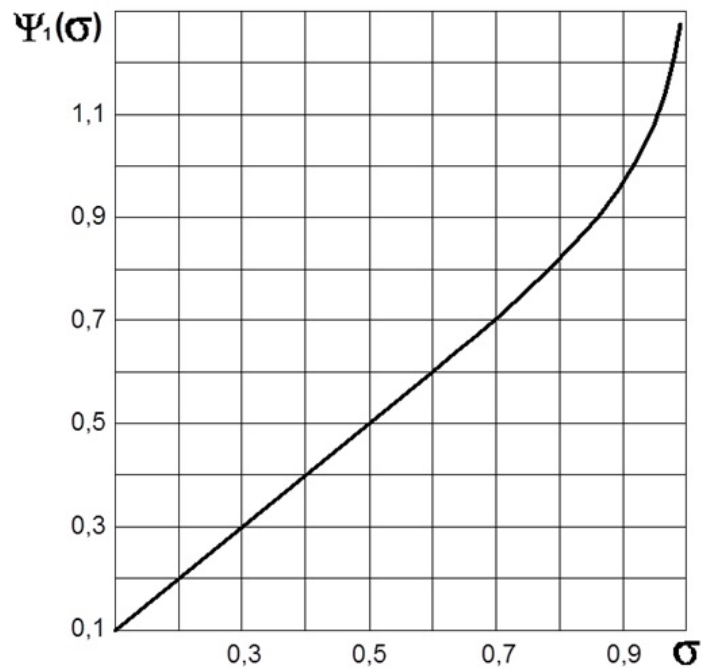


Рис. 2.8. Час підготовчого періоду

- Час кінцевого періоду прямого ходу

$$t_{nan} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{V_0}{\mu f} [\psi_1(\sigma_k) - \psi_1(\sigma_p)],$$

де $V = V_0 + FS$ - об'єм робочої камери пневмоциліндра в кінці ходу поршня;

$\sigma_k = 1$ - тиск в камері в кінці кінцевого періоду;

$\psi_1(\sigma_k)$, $\psi_1(\sigma_p)$ - функції тиску, що визначаються за графіком (рис. 2.8)

Розрахунок часу спрацьовування, його порядок виглядає:

- Час перемикання пневморозподільника обираємо $t = 0,15c$.
- Час розповсюдження хвилі тиску не враховуємо.
- Величина навантаження (безрозмірного):

$$x = P / P_m \cdot F = (P_1 + P_2 + P_a \frac{\pi}{4} d^2 u) / P_m \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(1,54 + 101325 \frac{3,14}{4} \cdot 0,06^2)}{506025 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4}} = 0,0283.$$

- Параметр $a = F / F_B = D^2 / (D^2 - d_u^2)$.
- Параметр $\omega = \frac{\mu_e f_e}{\mu f}$.
- Тиск у робочій порожнині в момент початку руху приймаємо $\sigma_p = 1$.
- Тиск у порожнині протитиску на початку руху:

$$\sigma_{BP} = \frac{\sigma_a}{\alpha(\sigma_p - x)} = \frac{0,2}{1,04 \cdot (0,49 - 0,245)} = 0,785$$

де $\sigma_A = P_A / P_M = 1 / P_M$.

Час наповнення порожнини до початку руху поршня циліндра:

$$t_{nan} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{V_0}{\mu f} [\psi_1(\sigma_p) - \psi_1(\sigma_A)] = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{0,0025}{0,03 \cdot 0,13} [1 - 0,2] = 0,18c.$$

де функція $\psi_1(\sigma_p)$, $\psi_1(\sigma_A)$ визначаємо за графіком (рис. 2.9) [11].

- Час спорожнення порожнини протитиску до тиску руху σ_{BP} .

$\psi_1(\sigma_p)$, $\psi_1(\sigma_a)$ - функції тиску, що визначаються за графіком (рис. 2.9)

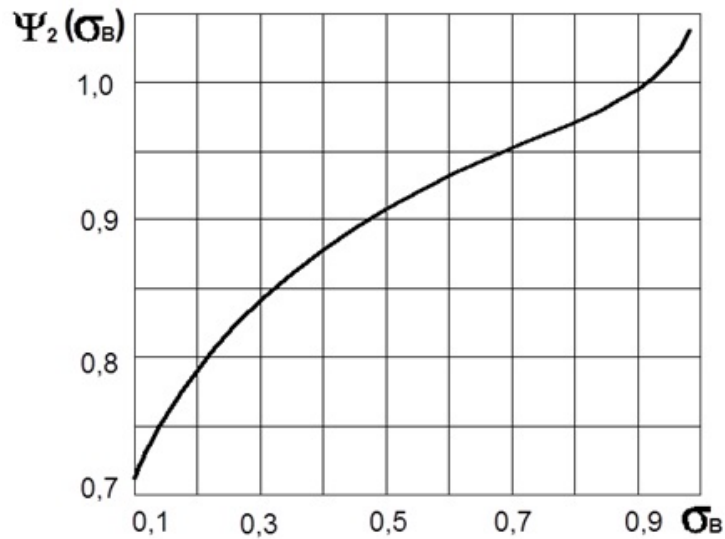


Рисунок 2.9 – Функції тиску [17]

$$t_{\text{зтор}} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{V_B}{\mu_B f_B \sigma_A^{\frac{k-1}{2k}}} [\psi_2(\sigma_{BP}) - \psi_2(\sigma_A)]$$

$$t_{\text{зтор}} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{5,949 \cdot 10^{-3}}{39,176 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2^{\frac{1,4-1}{2 \cdot 1,4}}} [1,16 - 0,96] = 0,1735 \text{ с.}$$

$$\text{де } V_B = V_{OB} + F_B S = 69 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$\sigma_A = P_a / P_m.$$

Проведений розрахунок дозволяє оцінити та побачити зв'язок між параметрами приводу та елементів модуля рекуперації стиснутого повітря, обрати потрібний об'єм ресиверу для накопичення пневматичної енергії та значення максимального тиску, для застосування, уповільнення рухомих мас пневматичного циліндру.

2.6. Методика розрахунку пневмо приводу з системою рекуперації пневматичної енергії.

В запропонованій блок-схемі (рис. 2.10) бачимо розрахунок пневматичного приводу системи рекуперації стиснутого повітря. Її можна віалізувати на рівні передачі при зміні видів енергії. В такому випадку потенційна енергія стиснутого повітря, яку підводимо до поршня, використовується для зрушення рухомих мас певмоциліндра. Для гальмування певмоциліндра кінематична енергія подається до модуля рекуперації стиснутого повітря, в ньому відбувається перетворення виду енергії з кінематичної в потенціальну енергію пневматичного приводу. На виході в модуль рекуперації стиснутого повітря відбувається перетворення енергії, потенціальна енергія повітря через регулюючу апаратуру перетворюється в кінетичну, яку ми використовуємо при розгоні пневмоциліндра.



Рисунок 2.10. Алгоритм перетворення видів енергії при роботі системи накопичення стиснутого повітря

Електрична енергія від мережі, яка живить компресор, за допомогою якого відбувається заміна видів енергії, електроенергія перетворюється в механічну, а механічна в свою чергу за допомогою варіатора в пневматичну

енергію стиснутого повітря. Пневматична енергія надходить від компресора до керуючої апаратури пневматичного приводу, після чого підходить в поршневу порожнину пнемоциліндра де йде перетворення пневматичної в механічну енергію, для виконання корисної роботи. Деяка частина механічної енергії в штоковій порожнині пнемоциліндра загалом перетворена в енергію стиснутого повітря шляхом гальмування пнемоциліндра. Знайдена енергія підводиться до модулю системи рекуперації, шляхом пневмоапаратури, в якому стиснуте повітря надходить до ресиверу, з якого в подальшому може бути направлена, як для виконання корисної роботи системи рекуперації пневматичної енергії (рис. 2.11).

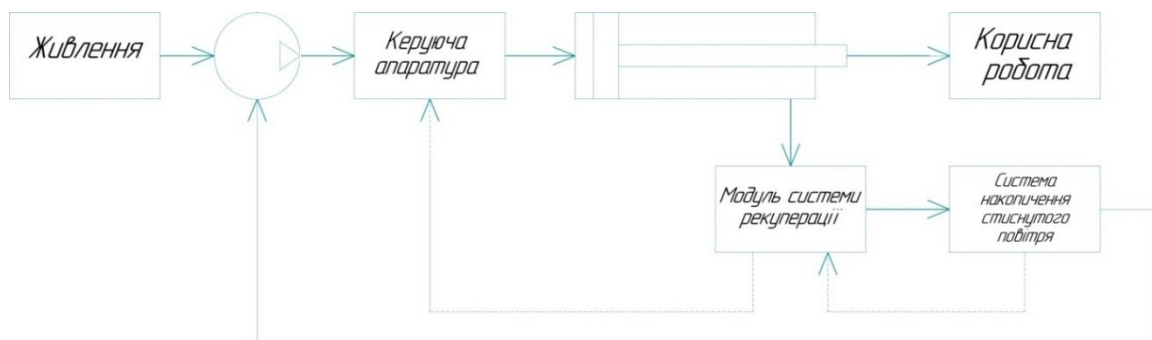


Рис. 2.11. Алгоритм роботи модуля накопичення стиснутого повітря

Даний принцип дозволяє реалізувати процес накопичення кінематичної енергії стиснутого повітря при гальмуванні робочих мас циліндра, та її перетворення в потенціальну через допоміжні засоби. Отриману пневматичну енергію можна повторно використовувати як для переміщення інерційних рухомих мас пнемоциліндра так і для підвищення коефіцієнта корисної дії компресора та систем пневматичних засобів.

Висновки до розділу

Проведений розрахунок дозволив довести роботоздатність та оцінити взаємозв'язок параметрів приводу та елементів модуля рекуперації пневматичної енергії стиснутого повітря, підібрати раціональний об'єм ресиверу для накопичення пневматичної енергії стиснутого повітря та значень мінімального та максимального тиску для застосування уповільнення рухомих мас пневмоциліндра.

Розрахунки модуля накопичення енергії стиснутого повітря, це дозволило отримати раціональні параметри щоб побудувати математичну модель модуля рекуперації.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЗИЦІЙНОГО ПРИВОДУ

3.1. Розробка принципової схеми пневмотичного розподільника позиційного приводу

Пневморозподільник складається з корпусу 1, золотника 2, редукційного клапану 3 та пружин 4, 5. Потік робочої рідини, представлений великою тонкою стрілкою, потрапляє з низу до гори через редукційний клапан, при цьому золотник перешкоджає шлях до вихідної ланки знизу (рис. 3.1а, 3.1б).

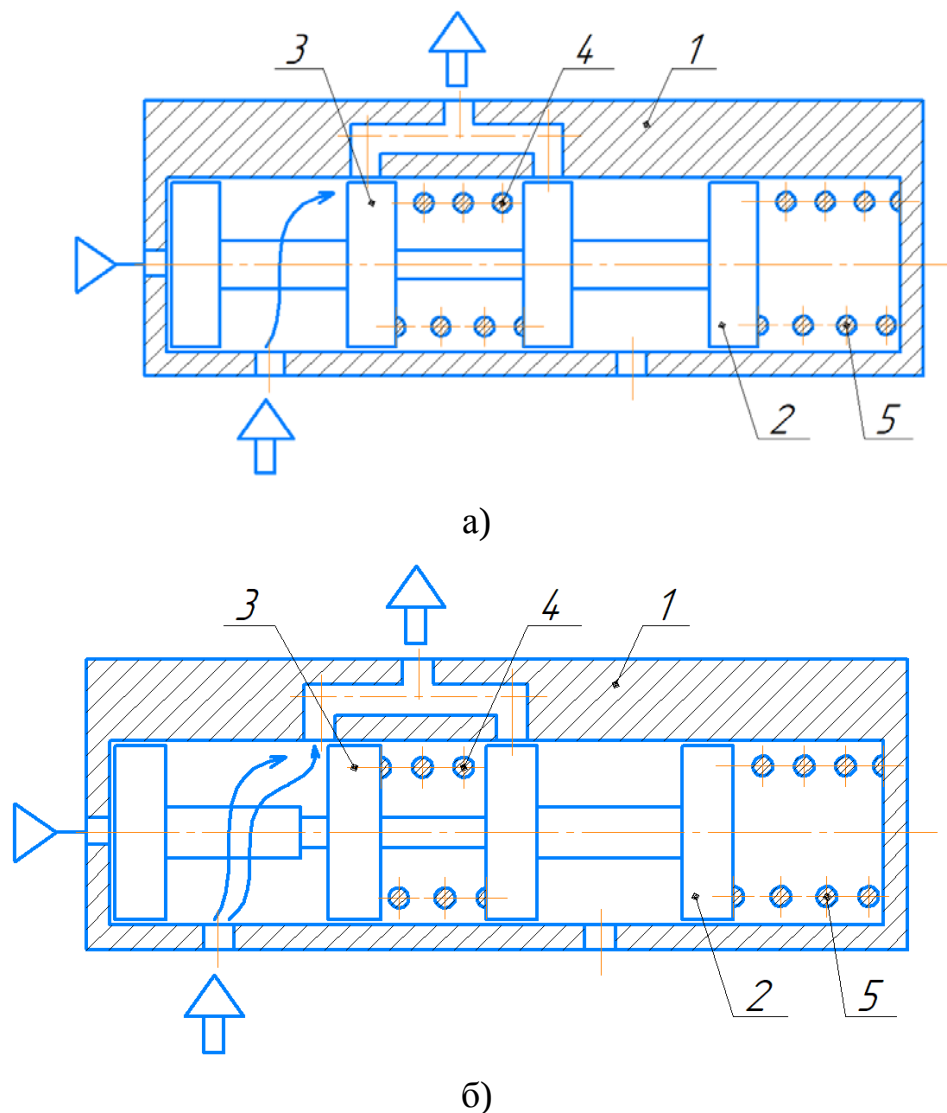


Рис. 3.1. Принципова схема пневматичного розподільника для системи рекуперації стиснутого повітря

Будуємо модель пневматичного розподільника (рис.3.2), розбиваємо її на елементи шляху роботи пневматичного розподільника.

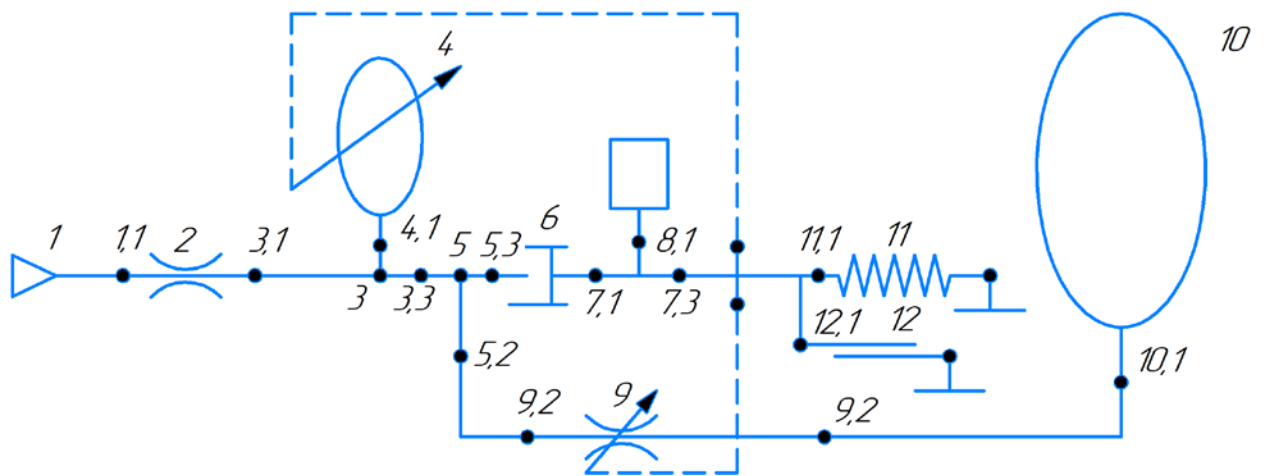


Рис. 3.2. Схема будови моделі пневматичного розподільника

З елементу 1 надходить тиск до системи, проходячи через елемент 2 виникає витрата робочого тиску, яка через елемент 3 поступає до елементів 4 та 5, елемент 4 являє собою ресивер малого об'єму, що в свою чергу підтримує постійний вхідний тиск. Через елемент 5 робоча рідина надходить до елементів 6 та 9. В свою чергу елемент 6 перетворює пневматичну енергію на механічну. Елемент 7 передає механічну енергію на переміщення рухомих мас, елемент 8, подолання в'язкого тертя, елемент 12, та рівновагу тисків 11. В елементі 6 виникає витрата стисненого повітря, яка наповнює ресивер 10 постійного об'єму.

Для побудови математичної моделі напишемо рівняння (3.1-3.3) по схемі (рис.3.2).

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = p(t), \\ q_{2(1)} = 0.0899 \cdot \mu \cdot f \cdot p_1 \cdot \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}, \\ q_{2(2)} = 0.02326 \cdot \mu \cdot f \cdot p_1, \\ q_2 = q_{2(1)}, \text{ при } \sigma = \frac{p_2}{p_1} < 1 \\ q_2 = q_{2(2)}, \text{ при } \sigma = \frac{p_2}{p_1} > 1 \\ q_{4,1} = q_2 - q_{3,3}, \\ \frac{dp_2}{dt} = \frac{k \cdot R \cdot T_M \cdot q_{4,1} - k \cdot p \cdot \Delta V}{V_0 + \Delta V}, \end{array} \right. \quad (3.1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{7,1} = p_2 \cdot S, \\ F_{12,1} = b \cdot v, \\ F_{11,1} = k \cdot h, \\ F_{8,1} = F_{7,1} - F_{7,3}, \\ \frac{dv}{dt} = \frac{F_{8,1}}{m}, \\ v = 0, h = 0, \text{ при } h \geq h_{\max} \end{array} \right. \quad (3.2)$$

p - тиск на вході модуля; $p_{\text{вих}}$ - тиск на виході з системи; G - витрата повітря; μ - коефіцієнт витрати; f - площа поперечного перерізу; R - постійна газова стала; T - температура; E - модуль пружності повітря; V_1 - об'єм трубопроводу; V_2 - об'єм ресивера модуля рекуперації.

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{9(1)} = 0.0899 \cdot \mu \cdot f \cdot p_1 \cdot \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}, \\ q_{9(2)} = 0.02326 \cdot \mu \cdot f \cdot p_1, \\ q_9 = q_{9(1)}, \text{ при } \sigma = \frac{p_3}{p_2} < 1, \\ q_9 = q_{9(2)}, \text{ при } \sigma = \frac{p_3}{p_2} > 1, \\ q_{3,3} = q_{5,3} - q_{9,1}, \\ q_{5,3} = \frac{v}{S}, \\ \frac{dp_2}{dt} = \frac{k \cdot R \cdot T_M \cdot q_{4,1} - k \cdot p \cdot \Delta V}{V_0 + \Delta V}. \end{array} \right. \quad (3.3)$$

V_r - змінний об'єм; v - швидкість переміщення робочих мас; S_r - змінна площа плунжера редукційного клапану; h - переміщення; V_0 - мертвий об'єм; f_r - змінна поперечного перерізу; m - маса рухомих частин; b - коефіцієнт тертя; k - коефіцієнт жорсткості пружини.

Для знаходження зони витрати рідини через розподільник, представимо його у вигляді кола, з нього знаходимо зону чутливості, у різних діапазонах відкриття (рис.3.3). Обрахунок площі здійснюється за допомогою формул (3.4, 3.5).

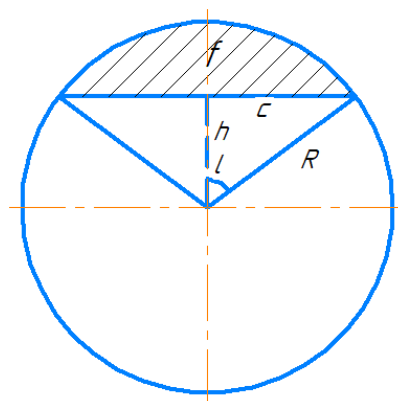


Рис. 3.3. Схема розкриття дрослюючого отвору в пневматичному розподільнику

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{2} R^2 \left(\frac{\pi 2\alpha}{180} - \sin 2\alpha \right), \\
 \alpha &= \arccos \left(\frac{c^2 + r^2 - h^2}{2rc} \right), \quad (3.4) \\
 c &= \sqrt{R^2 - h^2}, \\
 \cos \alpha &= \frac{h}{R}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} f = \frac{\pi D^2}{8}, n_{pu} h_{mp} = R - 0.01, \\ f = S_{kp} - S, n_{pu} h_{mp} = R - 0.01. \end{cases} \quad (3.5)$$

S - площа кола, R - радіус кола, D - діаметр, h - бісектриса, c - гіпотенуза, f - шукана площа, α - пів кута сектора.

3.2. Математична модель пневматичного розподільника

В середовищі Simulink побудовано математичну модель (рис. 3.4), на основі систем рівнянь (3.1-3.5).

На основі схема будови моделі пневматичного розподільника (рис. 3.2) проведено аналіз робочого процесу та виявлено комплект типових елементів, які забезпечать його виконання. Поєднавши типові елементи у відповідності до порядку виконання окремих дій у робочому процесі. Отримана схема будови моделі пояснює роботу пневматичного розподільника.

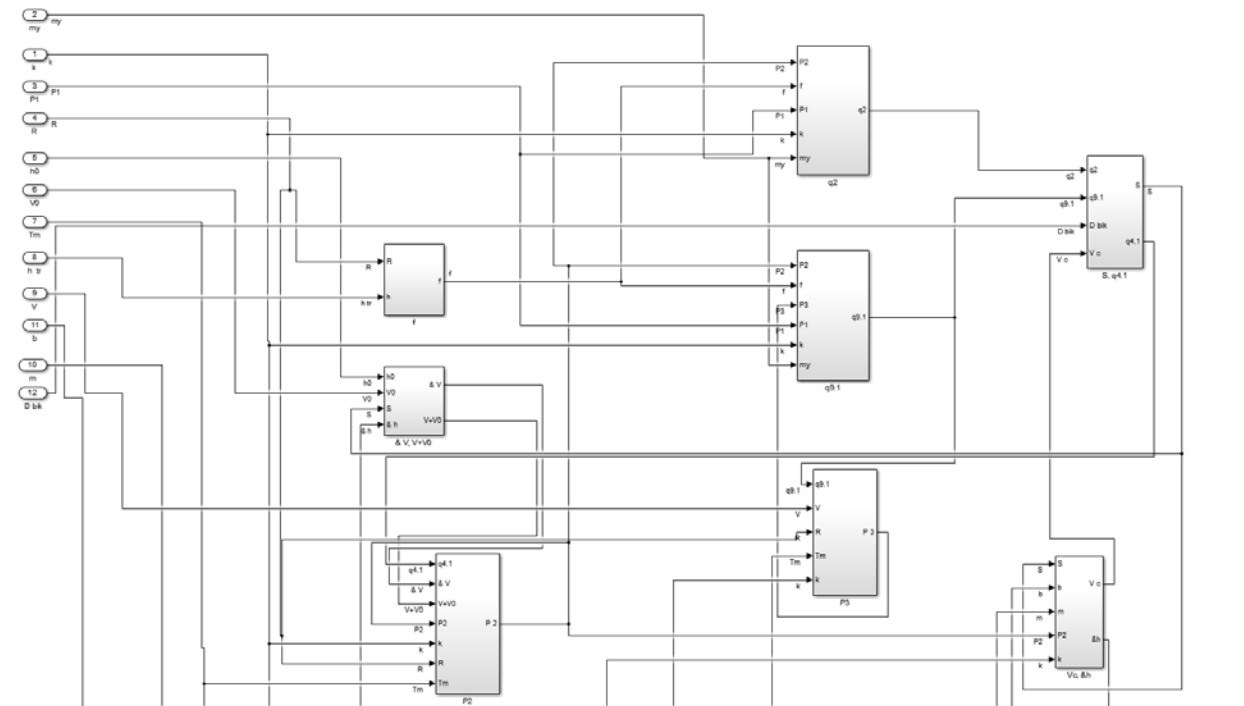


Рис. 3.4. Математична модель пневматичного розподільника в середовищі Simulink

Для можливості використання модулів в загальній математичній моделі приводу необхідно виконати перевірку їх коректної роботи.

Моделі модулів пневматичного розподільника на роботоздатність. При цьому тестуємо його (рис. 3.4). При тестуванні приймемо за початкові данні об'єм ресивера модуля рекуперації та масу рухомих частин пневматичного розподільника змінюючи їх.

Задамо наступні вхідні дані: тиск на вході – 500000 Па; коефіцієнт тертя – 0,03 Нс/м; масу рухомих частин пневматичного розподільника – 0,001 кг, об'єм ресивера модуля рекуперації – 0,05 м³, коефіцієнт жорсткості пружини – 1,4, діаметр площі відкриття камери золотника (рис. 3.5).

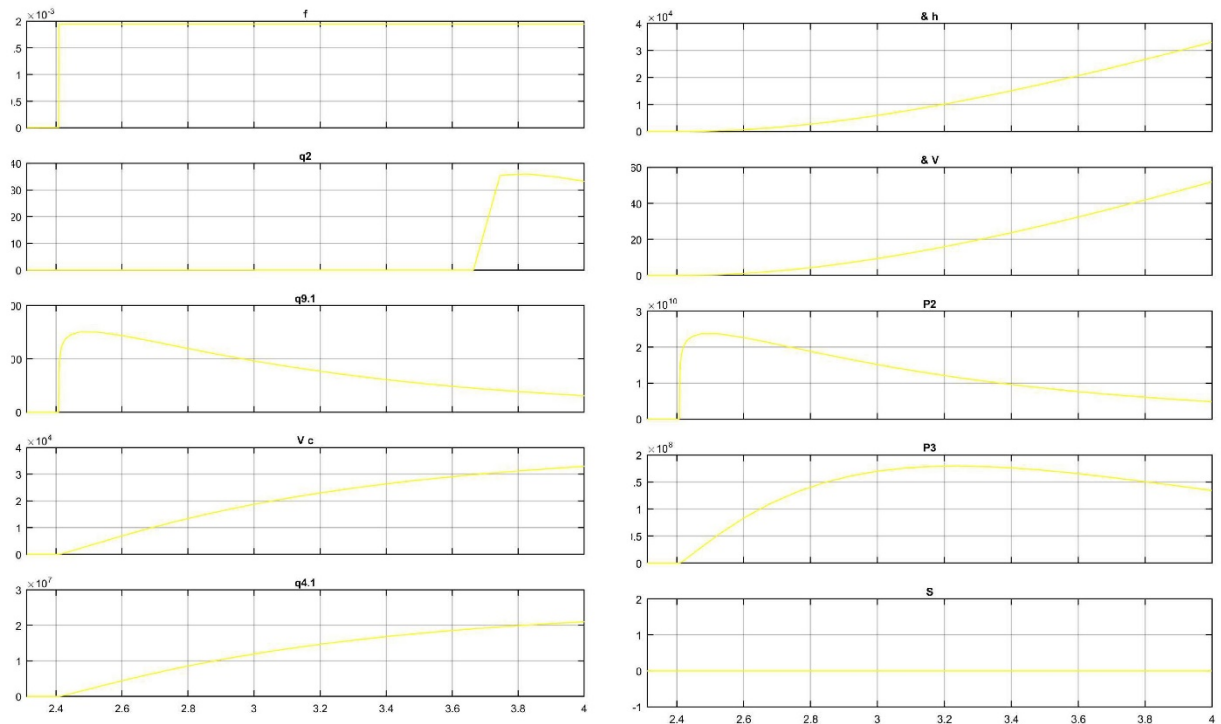


Рис.3.5. Перевірка роботоздатності моделі пневматичного розподільника при $V=0,05$, $m=0,001$

Проведені розрахунки показали, що час наповнення камери перед редукційним клапаном складає 2,42 с, час спрацювання редукційного клапану 2,43 с, зміщення поршня редукційного клапану відбувається на 2 мм, тиск на виході з пневматичного розподільника 250000 Па.

Задамо наступні вхідні дані: тиск на вході – 500000 Па; коефіцієнт тертя – 0,03 Нс/м; масу рухомих частин пневматичного розподільника – 0,001 кг, об'єм ресивера модуля рекуперації – 0,005 м³, коефіцієнт жорсткості пружини – 1,4, діаметр площі відкриття камери золотника 0,002 м (рис. 3.6).

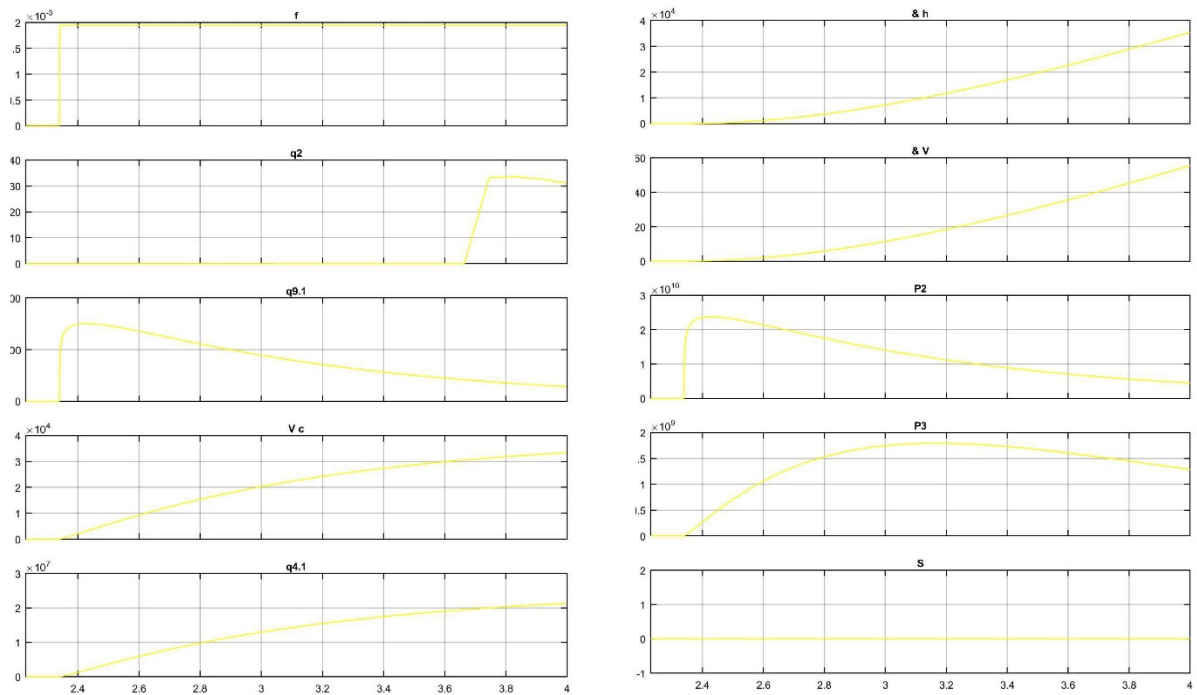


Рис.3.6. Перевірка роботоздатності моделі пневматичного розподільника при $V=0,005$, $m=0,001$

Проведені розрахунки показали, що час наповнення камери перед редукційним клапаном складає 3,5 с, час спрацювання редукційного клапану 3,51 с, зміщення поршня редукційного клапану відбувається на 2 мм, тиск на виході з пневматичного розподільника 240000 Па.

Задамо наступні вхідні дані: тиск на вході – 500000 Па; коефіцієнт тертя – 0,03 Нс/м; масу рухомих частин пневматичного розподільника – 0,1 кг, об'єм ресивера модуля рекуперації – 0,005 м³, коефіцієнт жорсткості пружини – 1,4, діаметр площі відкриття камери золотника 0,002 м (рис. 3.6).

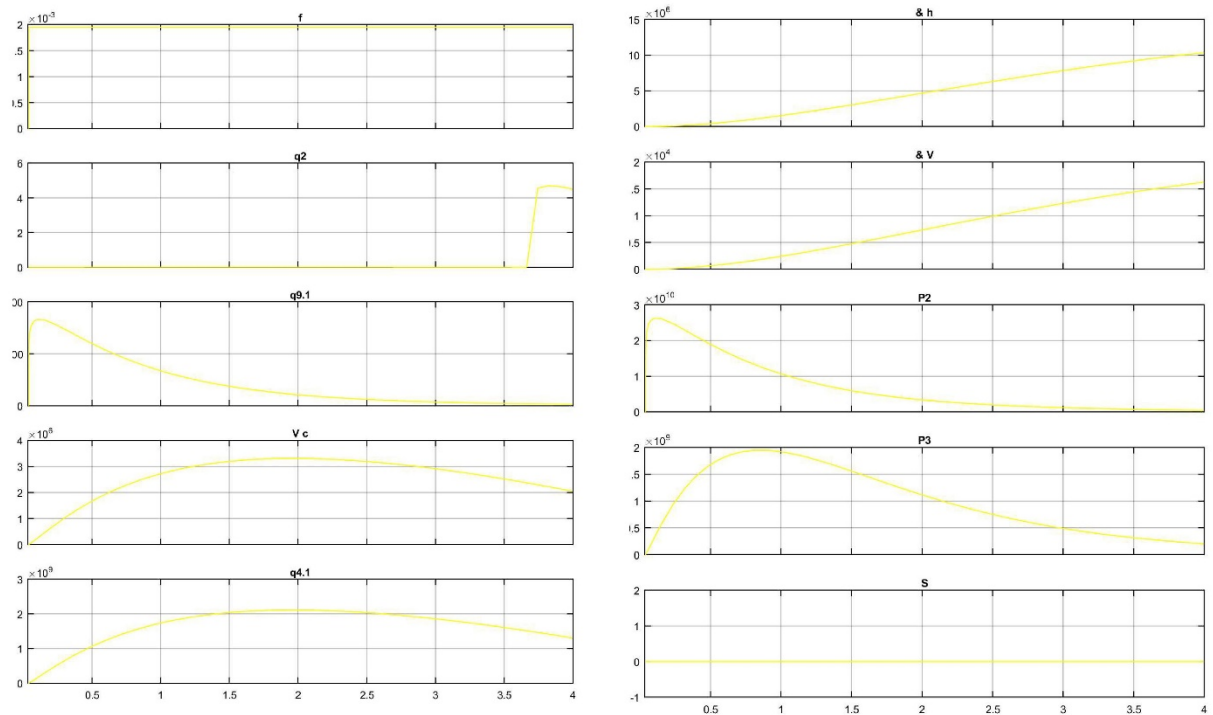


Рис.3.7. Перевірка роботоздатності моделі пневматичного розподільника при $V=0,005$, $m=0,1$

Проведені розрахунки показали, що час наповнення камери перед редукційним клапаном складає 3,6 с, час спрацювання редукційного клапану 3,61 с, зміщення поршня редукційного клапану відбувається на 2 мм, тиск на виході з пневматичного розподільника 220000 Па.

Задамо наступні вхідні дані: тиск на вході – 500000 Па; коефіцієнт тертя – 0,03 Нс/м; масу рухомих частин пневматичного розподільника – 0,1 кг, об'єм ресивера модуля рекуперації – 0,5 м³, коефіцієнт жорсткості пружини – 1,4, діаметр площі відкриття камери золотника 0,002 м (рис. 3.6).

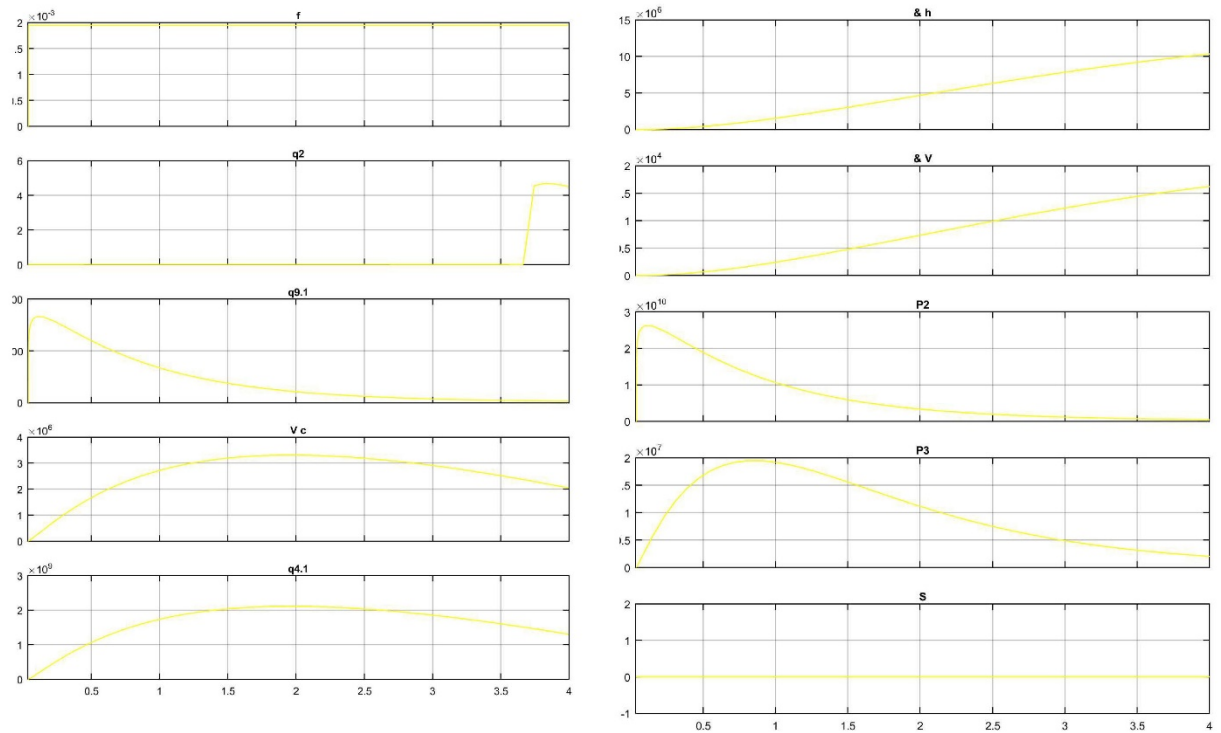


Рис.3.8. Перевірка роботоздатності моделі пневматичного розподільника при $V=0,5$, $m=0,1$

Проведені розрахунки показали, що час наповнення камери перед редукційним клапаном складає 3,7 с, час спрацювання редукційного клапану 3,7 с, зміщення поршня редукційного клапану відбувається на 2 мм, тиск на виході з пневматичного розподільника 200000 Па.

3.3. Дослідження пневматичного розподільника в середовищі SolidWorks

Для перевірки потоку робочої рідини розробимо модель пневматичного розподільника у середовищі SolidWorks (рис. 3.9).

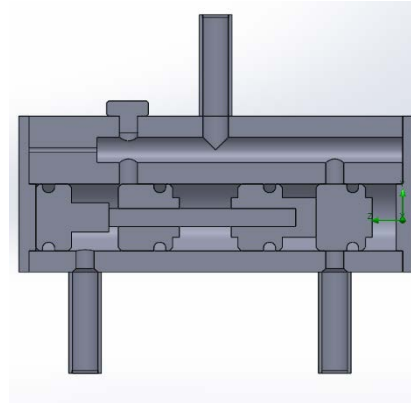


Рис. 3.9. Модель пневматичного розподільника у середовищі SolidWorks

Протестуємо роботоздатність даної моделі знявши характеристику швидкості потоку та тиску в даній точці (рис. 3.10), де колір показує тиск у розподільнику від синього до червоного.

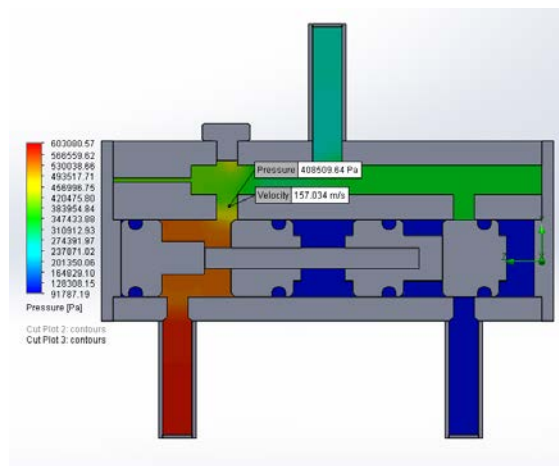
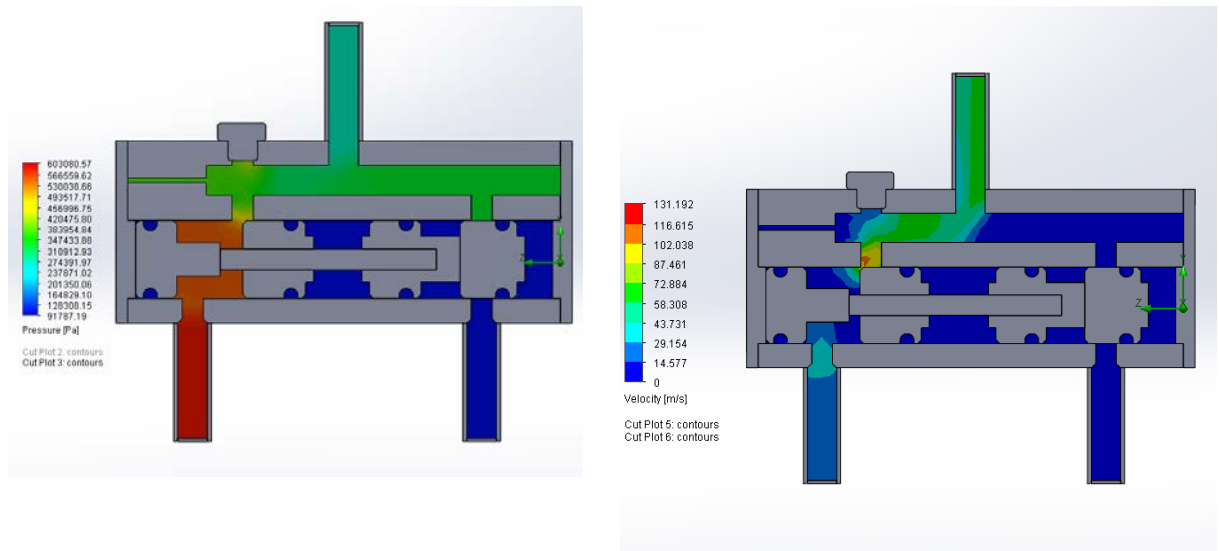


Рис. 3.10. Характеристика розподілу тиску та швидкості потоку стиснутого повітря пневматичного розподільника в заданій точці

Данна модель знімає характеристику залежачи від перепаду тиску на вході та виході та відкриття редукційного клапану, тому порівнюємо перепад тиску при середньому положенні редукційного клапану (рис. 3.11-3.13), де x – положення відкриття редукційного клапану, ΔP – перепад тиску.

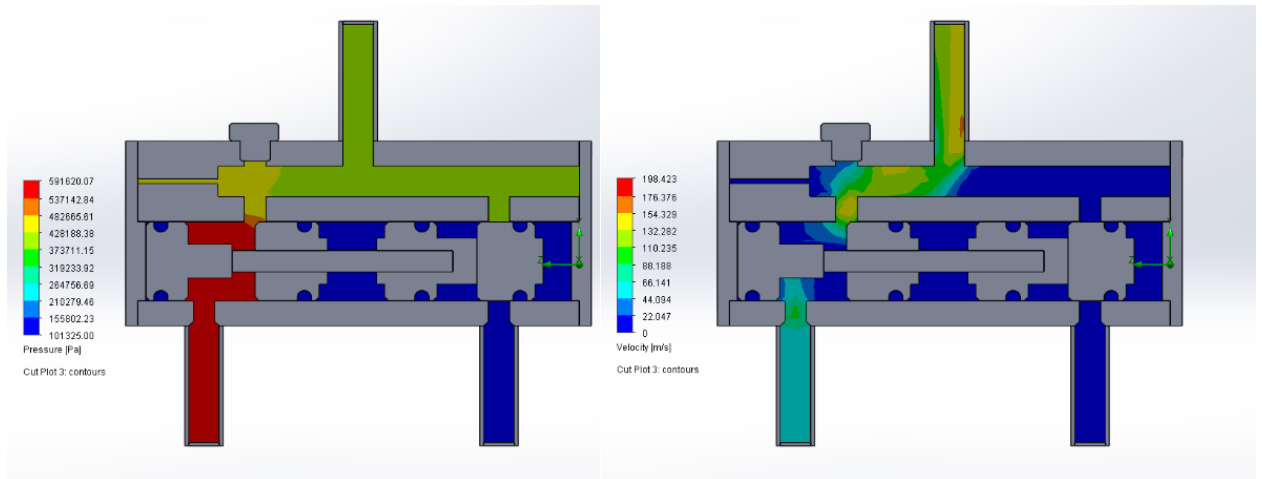


а)

б)

Рис.3.11. Характеристика розподілу тиску а) та швидкості потоку стиснутого повітря б) в пневматичному розподільнику при $\Delta P=5$ МПа.

Проведені розрахунки показали, що час наповнення камери перед редукційним клапаном складає 0,002 с, зміщення поршня редукційного клапану не відбувається, тиск на вході в пневматичний розподільник 6 МПа, тиск на виході з пневматичного розподільника 1 МПа.

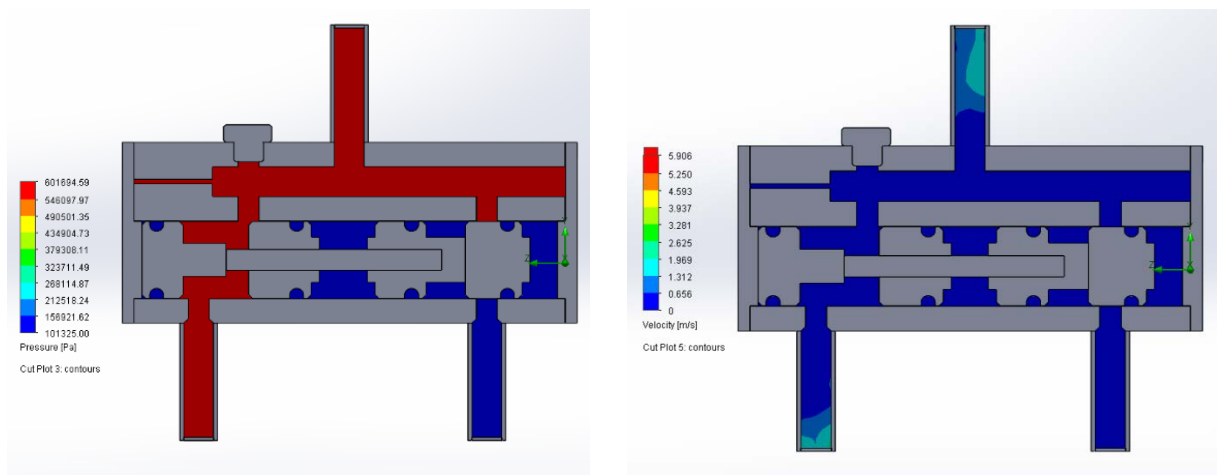


а)

б)

Рис.3.12. Характеристика розподілу тиску а) та швидкості потоку стиснутого повітря б) в пневматичному розподільнику при $\Delta P=3$ МПа.

Проведені розрахунки показали, що час наповнення камери перед редукційним клапаном складає 0,002 с, зміщення поршня редукційного клапану не відбувається, тиск на вході в пневматичний розподільник 6 МПа, тиск на виході з пневматичного розподільника 3 МПа.



а)

б)

Рис.3.13. Характеристика розподілу тиску а) та швидкості потоку стиснутого повітря б) в пневматичному розподільнику при $\Delta P=0$ МПа.

Проведені розрахунки показали, що час наповнення камери перед редукційним клапаном складає 0,002 с, зміщення поршня редукційного клапану не відбувається, тиск на вході в пневматичний розподільник 6 МПа, тиск на виході з пневматичного розподільника 6 МПа.

Висновки до розділу

Показано, що розроблена принципова схема позиційного приводу, яка за рахунок використання пневматичного розподільника дозволяє реалізувати об'ємний принцип управління з можливістю комп'ютерного або контролерного керування, створює потенційні можливості для забезпечення його функціональної гнучкості та енергоефективності.

Показано, що запропонована уточнена математична залежність для прогнозування похибки позиціонування, яка додатково враховує коефіцієнт мультиплікації пневматичного розподільника, дозволяє підвищити точність відпрацювання програм шляхом корегування на величину похибки команд керування.

Перевірено, що дана модель у середовищі SolidWorks виконує свої функції та аналізує потоки робочої рідини по перепаду тиску.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

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

4.1. Опис ідеї проекту

У табл. 4.1 надано інформацію про зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди, що може отримати користувач товару.

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап-проекту		
Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка модуля накопичення стиснутого повітря, яке виходить в атмосферу під час гальмування поршневого невмоприводу, система накопичує стиснуте повітря в ресивер шляхом вчасного перемикання клапанів та налаштованим клапаном тиску.	1. Системи енергозбереження	Підвищення ефективності приводів, що дозволить зменшити енерговтрати.
	2. Системи керування механізмів та машин	Підвищення ефективності роботи приводів та зменшення витрат на ресурси.

У таблиці 4.2 зроблено аналіз техніко – економічних переваг ідеї

порівняно із пропозиціями конкурентів.

Таблиця 4.2

Визначення характеристик ідеї проекту

Техніко- економічні характеристик и ідеї		(потенційні) товари/концепції конкурентів				W слабка сторона	N Нейтра льна сторона	S сильна сторона
		Мій	Пневматика	Керування	Дискретні			
1	Накопичення стиснутого повітря, %	98%	99%	99%	96%		+	
2	Вартість, тис.грн	10	3	2	3			+
3	Тиск (МПа)	0,5	0,5	0,5	0,5		+	

Аналіз слабких, нейтральних та сильних сторін техніко-економічних характеристик ідеї дозволяє зробити висновок, що дана ідея може бути конкурентоспроможною. Для даного продукту чітко прослідковується сегмент ринку, який зацікавлений саме в такій реалізації даної ідеї [17].

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Оскільки ідея проекту полягає в створенні модуля накопичення пневматичної енергії, то аудит може мати такі варіанти рішення:

- дообладнання зібраної функціонуючої системи запропонованим модулем рекуперації
- комплектування системи з нуля, з самого початку включаючи до її складу систему рекуперації. Такий варіант буде більш дорогим, але суттєво зменшує ризики помилки налаштування та роботи системи.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

В даному пункті необхідно визначити ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів - конкурентів [18].

4.3.1. Аналіз попиту

На початку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1 млн. дол.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

Продовження таблиці 4.3

4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	EN ISO 4413: 2010 Безпека машин Приводи пневматичні. Загальні правила і вимоги безпеки для систем і їх компонентів[41]
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	8%

З таблиці 4.3 видно, що за попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження.

4.3.2. Визначення потенційної групи клієнтів

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.4)

Таблиця 4.4

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп	Вимоги споживачів до товару
--------------------------	--	--	-----------------------------

Продовження таблиці 4.4

1) Скорочення ресурсів на виконання корисної роботи в змінних умовах роботи приводів	1) Автомобільна промисловість; 2) Аеро промисловість; 3) Станко - будування;	1) EN ISO 4413: 2010 [18]; 2) Різний тип обладнання; 3) Різні потужності виробництва;	1) Легке встановлення системи; 2) Ремонто- придатність; 3) Окупність в найкоротші строки; 4) Надійність
--	---	---	--

4.3.3. Аналіз ринкового середовища

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.5 – 4.6). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості [18].

Таблиця 4.5.

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Вартість	Вартість виготовлення вища у порівнянні з іншими модулями накопичення енергії	Відмова від становлення
2	Строк служби	Строк служби має бути більшим ніж строк окупності системи	Заміна на нову систему іншого постачальника. Відмова від подальшої співпраці

Таблиця 4.6.

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Підвищення ефективності накопичення	Скорочуються витрати на корегування та настройку системи	Перехід на систему даного типу для всіх етапів виробництва, де необхідна енергоефективність
2	Зменшення витрат на систему	Зменшення собівартості продукту, що випускається	Зниження вартості вихідного продукту

4.3.4. Аналіз пропозиції

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.7).

Таблиця 4.7.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
---	---	---

Продовження таблиці 4.7

1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	монополістична	У разі монополістичної конкуренції легко заснувати нову фірму або залишити ринок. Нові продавці часто відчують труднощі з новими для покупців торговельними марками і послугами.
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний/...	Національна	Національна конкуренція сприяє вливанню капіталів і товарів державою та інвесторами, створює конкурентну боротьбу
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева	Внутрішньо галузева	Сприяла зниженню витрат виробництва, впровадженню НТП, підвищенню ефективності виробництва.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова товарно-видова між бажаннями	товарно-родова	Конкуренція між різними видами товарів, які можуть виконувати подібні функції.
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	цінова	Головною конкурентною перевагою є економія ресурсів впродовж процесу роботи.

Продовження таблиці 4.7

6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	марочна	ситуація на ринку, де компанія розглядає як своїх конкурентів компанії, що пропонують подібний продукт тим же цільовим покупцям
---	---------	---

4.3.5. Детальний аналіз конкуренції в галузі

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 4.8) [18].

Таблиця 4.8.

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальник	Клієнти	Товари-замінники
	На ринку спостерігає тенденція до збільшення кількості підприємств і посилення конкуренції на ринку.	Бар'єри входу на ринок є порівняно незначними. Вартість організації бізнесу сягає 60 тис. дол.	Існує чітка залежність від постачальників як якості продукції, так і можливих обсягів її виробництва.	Споживачі мають широку географію	Посилилася конкуренція зі сторони оварів субститутів в інших типів рекуперації енергії

Висновки: має місце інтенсивна конкурентна боротьба з боку прямих конкурентів, є можливість виходу на ринок, товари замітники пропонують вищу вартість.

4.3.6. Аналіз факторів конкурентоспроможності

На основі аналізу конкуренції, проведеного в п. 4.3.5 (табл. 4.8), а також із урахуванням характеристик проекту (табл. 4.2), факторів маркетингового середовища (табл. 4.5-4.6) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл. 4.9.

Таблиця 4.9.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Оригінальний модуль накопичення стиснутого повітря	В умовах монополістичної конкуренції, коли фактор диференціації ТМ є ключовим засобом ведення конкурентної боротьби, важливим є створення та підтримання продукту.
2	Ціна	Оскільки такий спосіб накопичення енергії є дорогим, але передбачає економію ресурсів, то окупність є одним з засобів ведення конкурентної боротьби. Тому чим вигіднішою є швидкість окупності для споживача, тим вірогідніше його вибір.

Продовження таблиці 4.9.

3	Репутація виробника	За рахунок того, що в світі популяризація концепції екологічно чистого виробництва, а також введення відповідних стандартів робить величезний вплив на розвиток різних сегментів промисловості, споживач при виборі ТМ керується також впливом технології на світову екологію. позитивне сприйняття новинок.
4	Маркетинговий бюджет	Від розміру маркетингового бюджету залежить здатність здійснювати маркетингову стратегію підприємства. Маркетингові заходи мають забезпечувати інші конкурентні переваги такі, як рівень диференціації, лояльності, репутація виробника, дистрибуція та просування.

4.3.7. Складання SWOT-аналізу

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.10).

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення [18].

Таблиця 4.10.

SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Оригінальний модуль; 2. Покращення техніко-економічних показників установок 3. Вища надійність	Слабкі сторони: 1. Слабке самозабезпечення фінансовими ресурсами; 2. Відсутність чітко вираженої маркетингової стратегії, непослідовність в її реалізації; 3. Вища вартість запровадження.
Можливості: 1. Можливість збільшення обсягів реалізації системи. 2. Можливість збільшення обсягів продаж за рахунок впровадження ще більш ресурсоекономних систем позиціонування.	Загрози: 1. Загроза втрати споживачів внаслідок підвищення тиску зі сторони товарів- субститутів 2. Загроза підвищення цін на продукт унаслідок підвищення цін на сировину та її дефіциту

4.3.8. Альтернативи ринкової поведінки

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл. 4.9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.11).

Таблиця 4.11.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Використання засобів стимулювання збуту на технологічних виставках та конференція для збільшення продаж товару (більш глибоке проникнення на ринок)	Дозволяє суттєво збільшити обсяги продаж. Потребує маркетингових витрат, спланованих та координованих дій	0,5 року
2	Впровадження індивідуального підходу до кожного замовника (розвиток товару)	Можливість залучення нових споживачів. Потребує значних капіталовкладень виведення на ринок	1 рік

Продовження таблиці 4.11.

3	Збільшення представленості в різних регіонах (розвиток ринку)	Можливість розширення охоплення цільової аудиторії. Потребує значних капіталовкладень на створення додаткових філій в регіонах	4 роки
4	Налагодити виробництво іншого виду ущільнень (диверсифікація)	Дозволяє привернути увагу споживачів, залучити додаткових. Потребує значних фінансових вкладень у розробку та тестування нового продукту	2 роки

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

4.4.1. Стратегія охоплення ринку

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.12).

Таблиця 4.12.

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Автомобільна промисловість	+	високий	середня	середня
2	Аеро промисловість	+	високий	середня	висока
3	Станко – будівництва	+	високий	середня	середня
Які цільові групи обрано: обрані всі три цільові групи потенційних споживачів					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) визначена стратегія охоплення ринку: компанія працює із всім ринком, пропонуючи стандартизовану програму (включно із характеристиками товару/послуги). Це означає, що маркетингова стратегія націлена на диференціацію продукту в своїй сфері [19].

4.4.2. Базова стратегія розвитку

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.13).

Таблиця 4.13.

Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розвиток ринку	Масовий маркетинг	Низькі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів і одночасно хороший захист проти товарів-замінників	Стратегія лідерства по витратах
2	Розвиток товару	Диференційований маркетинг	Відмітні властивості товару і завойована прихильність клієнтів захищають фірму і від товарів-замінників	Стратегія диференціації
3	Більш глибоке проникнення на ринок	Концентрований маркетинг	Задоволення потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти	Стратегія спеціалізації

На основі таблиці 4.12 обрана базова стратегія розвитку - стратегія диференціації.

4.4.3. Стратегія конкурентної поведінки

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.14).

Таблиця 4.14.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем » на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентно ї поведінки
1	Так	Так	Ні	Стратегія лідера
2	Ні	Так	Ні	Стратегія виклику лідера
3	Ні	Ні	Так	Стратегія наслідування лідеру
4	Так	Ні	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі таблиці 4.13 стратегія конкурентної поведінки - стратегія лідера.

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап – проекту

4.5.1. Формування маркетингової концепції товару

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.15 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.15.

Визначення ключових переваг концепції

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Робота системи в умовах непередбачених для електрики	Повністю пневматичне обслуговування	Швидкість налаштування
2	Зменшення витрат на систему	Зниження собівартості готової продукції	Невелика вартість системи

4.5.2. Визначення цінових меж

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни

відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги

або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.16) [18]. Аналіз проводиться експертним методом [19].

Таблиця 4.16.

Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
6-9 тис. дол.	20-27 тис. дол.	2 млрд. дол.	12-15 тис. дол. на ступінь

4.5.3. Визначення оптимальної системи збуту

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.17):

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

Таблиця 4.17.

Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	маленька система збуту
Характерно для наукомістких галузей зі специфічним і (або) дорогим товаром, який може бути придбаний обмеженим числом споживачів, які потребують	Просування на ринок подібних продуктів в рамках даної системи збуту не вимагає будь-якої широкої реклами. Швидше потрібно одного разу	Канал нульового рівня	Канал складається з виробника, який продає свій товар безпосередньо споживачам (через відділ збуту, збутові філії, мережу
специфічних компонентах для свого специфічного фінального продукту (машинобудування з виробництвом за індивідуальними замовленнями або дрібними серіями).	з'ясувати, хто з потенційних покупців інновацій може в них потребу і яка поточна платоспроможність даного клієнта.		фірмових магазинів, посилкову торгівлю тощо)

4.5.4. Концепція маркетингових комунікацій

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.18).

Таблиця 4.18.

Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Наукомісткі галузі зі специфічними і (або) дорогим товаром, який може бути придбаний обмеженим числом споживачів	Включають в себе пряму поштову розсилку, замовлення по друкованим каталогам і продаж в режимі он-лайн.	Конкурентне позиціонування, яке базується на демонстрації переваг товарів підприємства над товарами конкурентів.	Отримати можливість у кілька разів збільшити обсяг продажу своїх товарів	Головними елементами структури реклами є тема реклами і девіз рекламної кампанії.

Висновки до розділу

Проведено аналіз можливості ринкової комерціалізації проекту. Як показали результати аналізу аспектів запровадження такого продукту, технічна реалізація представляється можливою. Визначаючи його сильні та слабкі сторони було оцінено ризики входження продукту на ринок систем накопичення стиснутого повітря.

Такий ринок залишає за собою певні проміжки, які досі не покриті виробниками схожої продукції. Це робить ринок привабливим для входження. А сам продукт може зайняти стійкі позиції в певних сегментах ринку подібних систем. Отже, запровадження продукту можливо вважати перспективним.

Для ринкової реалізації було обрано стратегію диференціації, яка передбачає охоплення як можливо більших сегментів. На перших етапах це дозволить швидше дізнатись про продукт та надбати потенційних користувачів.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Тема мого дипломного проекту – «Дослідження процесів в порожнинах пневмоциліндра при рекуперації пневматичної енергії». У даній роботі досліджено динамічні характеристики пневмоприводу, робота проводиться за персональним комп'ютером у відведеній лабораторії. Основними несприятливими чинниками є:

- пожежонебезпека;
- небезпека ураженням електричним струмом;
- зорове навантаження;
- освітлення.

5.1. Санітарно-гігієнічна характеристика приміщення лабораторії

Розміри приміщення, в яких встановлений комп'ютер та інша техніка: площа 30 кв.м. (рис. 5.1), а об'єм $V = S \cdot h = 30 \cdot 2,7 = 81 \text{ м}^3$. У цьому приміщенні передбачено відповідні параметри температури, чистота повітря але не забезпечена ізоляція від виробничих шумів так як приміщення розташоване в корпусі Університету.

По санітарних нормах площа на одне робоче місце з ПК для дорослих користувачів повинна складати не менше 6.0 м^2 , а об'єм – не менше 20 м^3 . Отже, габаритні розміри приміщення повністю відповідають санітарним нормам.

Для облицювання стін, стель, підлоги приміщень, де розміщені ПК, слід використовувати матеріали, дозволені органами санітарно-епідеміологічного нагляду [20], а для внутрішньої обробки інтер'єру – матеріали, що дифузно-відбиваються, з такими коефіцієнтами віддзеркалення: для стелі – 0.7-0.8; для стін – 0.5-0.6; для підлоги – 0.3-0.5. Поверхня підлоги в приміщеннях експлуатації моніторів і ПК повинна бути рівною, без вибоїн, неслизькою,

зручною для прибирання, володіти антистатичними властивостями. Вологе прибирання необхідно проводити щодня.

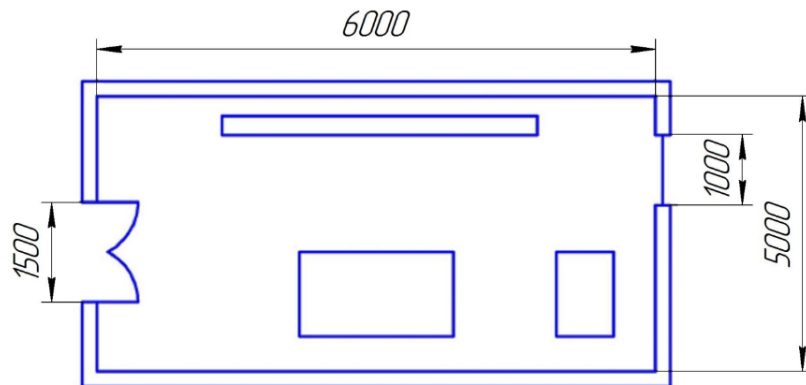


Рис. 5.1. План приміщення

5.2. Вимоги до мікроклімату під час роботи в лабораторії

В даному приміщенні робота з монітором і ПК є основною, тому воно забезпечується оптимальними параметрами мікроклімату.

Для створення необхідних параметрів мікроклімату у приміщенні застосовується система вентиляції та проводиться провітрювання приміщення двічі в день, з ранку і ввечері.

Вентиляція приміщення досягається видаленням з них нагрітого або забрудненого повітря і подачею чистого зовнішнього повітря.

Основні параметри мікроклімату (таблиця 5.1) (температура повітря, вологість і швидкість руху повітря на робочому місці) повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6042-99 «санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Крім того, необхідно забезпечити необхідні концентрації позитивних і негативних іонів в повітрі робочої зони. Результати досліджень показали, що позитивні іони у великій кількості негативно впливають на розумову і фізичну працездатність (з'являється стомлюваність), на діяльність серцево-судинної системи і системи кровотворення, а негативні іони сприятливо впливають на здоров'ї людини.

Необхідні концентрації позитивних і негативних іонів в повітрі робочої зони забезпечують:

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

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

Таблиця 5.1.

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

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

У холодний період року, середня температура складає 23 °C. Значення відносної вологості дорівнює 57%.

Всі параметри мікроклімату приміщення в теплий та холодний період року знаходяться в діапазоні оптимальних значень, тому можна зробити висновок, що мікроклімат приміщення є сприятливим для праці.

5.3. Вимоги до освітлення під час роботи в лабораторії

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

Штучне освітлення в приміщеннях для експлуатації ПК повинне здійснюватися системою загального рівномірного освітлення. У випадках переважної роботи з документами, слід застосовувати системи комбінованого освітлення (до загального освітлення додатково встановлюються світильники місцевого освітлення, призначені для освітлення зони розташування документів).

Освітленість на поверхні столу в зоні розміщення робочого документа повинна бути 300-500 лк ДБН В.2.5-28:2018 «природне та штучне освітлення». Освітлення не повинне створювати відблисків на поверхні екрану. Освітленість поверхні екрану не повинна бути більше 300 лк [21].

Як джерела світла при штучному освітленні слід застосовувати переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ і компактні люмінесцентні лампи. У світильниках місцевого освітлення допускається застосування ламп розжарювання, зокрема галогенних.

В приміщенні застосовується штучне освітлення комбіноване(місцеве і загальне) і природне освітлення бокове. Штучне освітлення виконується за допомогою електричних джерел світла - ламп розжарювання. Виходячи з цього, проведемо розрахунки освітленості нашого приміщення.

Розрахунок освітлення проводиться для кімнати площею 30 м^2 , ширина якої 5 м, висота – 2.7 м. Скористаємося методом світлового потоку .

Визначимо світловий потік в прищенні і порівняємо його з допустимим, за формулою:

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

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

S - площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку $S = 30\text{м}^2$);

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

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

N - кількість світильників;

n - кількість ламп у світильнику.

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

$$I = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{30}{1,9 \cdot (5+6)} = 1.43$$

де

S - площа приміщення, $S = 30 \text{ м}^2$;

h - розрахункова висота підвісу, $h = 1,9 \text{ м}$;

A - ширина приміщення, $A = 5 \text{ м}$;

B - довжина приміщення, $B = 6 \text{ м}$.

Підставивши значення отримаємо:

Знаючи індекс приміщення I , за таблицею знаходимо $\eta = 0,38$.

Для освітлення використовується люмінесцентні лампи типу Т8 (2.54см), світловий потік яких $F = 3400 \text{ Лк}$.

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку E_{ef} :

$$E_{\text{ef}} = \frac{3400 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 0,38}{30 \cdot 1,5 \cdot 1} = 258,4 \text{ лк}$$

Отже, можна зробити висновки, що освітленість приміщення не достатня, саме тому використовується, ще місцеве освітлення, а от освітленість екрану задовольняє нормам.

5.4. Електробезпека

З кожним роком зростає виробництво та споживання електроенергії, а відтак і кількість людей, які в процесі своєї життєдіяльності використовують (експлуатують) електричні пристрої та установки. Тому питання електробезпеки набувають особливої уваги.

Електробезпека – це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

В приміщення одночасно експлуатується і обслуговується 2 персональних ЕОМ, у доступному місці встановлюється аварійний резервний

вимикач та електричний щит з запобіжником, що може повністю виключити електричний струм приміщення, крім освітлення. Заземлення електричного щита виконано із заземленою нейтраллю, а розетки лабораторії виконані з захисним зануленням.

Крім того, кожен ПК в приміщенні на випадок перенавантаження електричної мережі, підключений в розетку з окремим запобіжником виключення.

Для підключення іншої переносної електроапаратури використовуються гнучкі проводи в надійній ізоляції, також з додатковим запобіжником вимикання, також електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у приладів і меблів.

Приміщення відповідає усім нормам електробезпеки за ПУЕ 2017 та є придатним та безпечним для роботи.

5.5. Пожежна безпека

Приміщення, в яких встановлені ПК та інша техніка, по пожежній небезпеці відносяться до категорії В, і повинні задовольняти вимогам по запобіганню і гасінню пожежі по, з обов'язковою наявністю телефонного зв'язку і пожежної сигналізації.

Меблі в приміщенні лабораторії із МДФ, дверні та віконні переплети із металопластика, корпус ЕОМ і приладів із металу та полімерних матеріалів. По вибуху і пожежо-небезпечності приміщення відноситься до категорії В

На основі ДСТУ Б В.1.1-4-98* «будівельні конструкції» будівля відповідає II степені вогнестійкості, що потребує від будівельників конструкції норм вогнестійкості (часу опору вогню):

- несучі стіни, стіни сходових кліток і колони - 2 год.
- сходові клітки, сходи, балки і марші у сходових клітках - 1 год.
- зовнішні стіни навісних панелей - 0.25 год.

- внутрішні і зовнішні стіни (перегородки) - 0.25 год.
- плити і настили конструкцій міжповерхових перекриттів – 0.75 год.
- плити, настили та інші несучі конструкції - 0.25 год.

Приміщення відноситься до категорії В. В приміщенні повинно знаходитись 3 вуглекислотні вогнегасники.

Необхідний час евакуації складає - 3 хвилин. Евакуацію необхідно здійснювати швидко, чітко та без паніки.

5.6. Визначення ступенів руйнувань елементів будинку

Ступінь руйнувань будівлі, споруди чи обладнання залежить від їх міцності та величини надмірного тиску (ΔP_{ϕ}) ударної хвилі. Величина надмірного тиску, в свою чергу, залежить від типу і кількості вибухової речовини та відстані від центру вибуху до досліджуваного об'єкта. Методика розрахунку величини надмірного тиску відрізняється для умов вибуху газоповітряної суміші і умов вибуху вибухової речовини. А. Під час вибуху газоповітряної суміші вуглеводневих продуктів Величина надмірного тиску залежить від того в яку фізичну зону вибуху потрапить об'єкт. Таких зон утворюється 3: Зона I – детонаційної хвилі (знаходиться в районі ЦВ, в межах хмари речовини вибуху) має радіус:

$$r_1 = 17,5 \cdot Q$$

де Q – кількість вуглеводневого продукту, т В межах цієї зони надмірний тиск $\Delta P_{\phi} = 1700$ кПа. Зона II – дії продуктів вибуху (охоплює територію, де розлетілись продукти газоповітряної суміші внаслідок її детонації) має радіус:

$$r_2 = 1,7 \cdot r_1$$

Надмірний тиск в межах цієї зони розраховується за формулою:

$$\Delta P = 1300(r_1/R_0)^3 + 50$$

де R_0 – відстань від ЦВ до об'єкта в межах зони II (тобто при $L \leq r_1$ $R_0=L$).
Зона III – дії повітряної УХ. Надмірний тиск в межах цієї зони можна визначити за формулою:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{252}{\sqrt{1 + 7,66 * 10^{-5} * \frac{L^3}{Q} - 1}}, \text{ кПа}$$

або менш точно можна визначати за допомогою графіків (рис.5.1)., де

L – відстань до центру вибуху, м;

Q – кількість вибухової речовини, т. Б. Під час вибуху вибухової речовини (тротилу, пікринової кислоти, тетрилу, гексогену) величину надмірного тиску розраховують за формулою:

$$\Delta P_{\phi} = \left(1.05 \frac{\sqrt[3]{Q}}{L} + 43 \frac{\sqrt[3]{Q}}{L^2} + 1400 \frac{Q}{L^3} \right) * 10^3, \text{ кПа}$$

$$\text{де } Q = K_{BP} * Q_{BP}$$

K_{BP} - коефіцієнт, що враховує тип вибухової речовини; Q_{BP} - кількість заданої у вихідних даних відповідної вибухової речовини у тонах. Приблизне значення величини надмірного тиску можна визначити за допомогою графіка (рис.2) Після визначення величини надмірного тиску ударної хвилі, що очікується в районі цеху, оцінюються ступені руйнувань елементів цеху (будівлі, обладнання, енергетичних мереж). В Додатку 2 наведено перелік елементів цеху та при яких значеннях надмірного тиску вони отримують слабкі, середні, сильні або повні руйнування. В часткових висновках,

користуючись даним Додатку 3, студенти оцінюють характер очікуваних пошкоджень будівлі та обладнання.

Підрахуємо ступеня руйнувань елементів будинку та їх шкоди людям по таким параметрам, як [22]:

1. Відстань від будівлі до міста аварії (вибуху) – 800 м;
2. Маса пропану – 30 т;
3. Характеристики елементів будівлі:
будівля – зі збірного залізо бетону;
верстати – важкі;
кабельні лінії – наземні;
контрольно-вимірювальна апаратура – наявна;
границі вогнетривкості несучих стін – 2 год;
границі вогнетривкості перегородок – 0,25 год;
4. Категорія виробництва з пожежної безпеки – В
5. Щільність забудови об'єкту – 23%

Розрахункова частина:

- 1.1. Зона I : $r_1 = 117\text{м}$;
- 1.2. Зона II: $r_2 = 199\text{м}$;

Висновок: об'єкт опиниться за межами цих зон, тобто у зоні повітряної ударної хвилі (зона III).

- 1.3. $\Delta P_{\text{ф}} = 25,01, \text{кПа}$;
- 1.4.1. Ступінь руйнування будівлі – середня

Характеристика руйнувань будівлі:

Руйнування даху, легких внутрішніх перегородок, в капітальних стінах з'являються тріщини;

- 1.4.2. Ступінь руйнування верстатів – слабкі

Характеристика руйнувань промислового обладнання:

Пошкодження окремих елементів обладнання, важелів управління, вимірювальних приладів;

- 1.4.3. Ступінь руйнування контрольно-вимірювальної апаратури – сильні;
- 1.4.4. Ступінь руйнування кабельних ліній – слабкі;
- 2.1. Ступінь ураження людей – від прямої дії - слабкі;
- 2.2. Характеристика уражень людей: своєчасною реакцією на дану ситуацію можна запобігти жертвам;
- 3.1. Ступінь вогнестійкості – III ступінь вогнестійкості;
- 3.2. Очікувана пожежна обстановка для виробництва категорії пожежної небезпеки В, ступеня вогнестійкості будівель – III, при надмірному тиску 25 кПа і щільності забудови більше 20% можна очікувати в перші 30 хвилин окремі пожежі з переростанням за 1...2 год в суцільну;
- 4.1. Безпечна кількість вибухової речовини - менше 5 т;
- 4.2. Визначаємо безпечну кількість пропану для уникнення будь-яких руйнувань, тобто контрольно-вимірювальна апаратура вціліє, якщо кількість пропану буде менше 1.5 т;
- 5. Висновки: На відстані 800 м від цеху стався вибух пропану, що призвело до руйнувань будівлі, елементів цеху, постраждали люди. В першу чергу треба сповістити про НС керуючий персонал навчального закладу.

Серед рекомендацій, спрямованих на зменшення заподіяної шкоди та уражень людей, можуть бути такі:

- 1) укріпити будівлю установленням додаткових колон, ферм, підкосів;
- 2) верстати надійно закріпити на фундаменті, установити захисні навіси або ковпаки;
- 3) кабельні лінії прокласти під землею;
- 4) створити 50% запас контрольно-вимірювальної апаратури;
- 5) установити на вікнах захисні металеві сітки, щоб розбите скло не потрапляло в приміщення цеху;
- 6) установити і регулярно контролювати стан вогнегасників та інших протипожежних систем;

7) порушити питання перед відповідними органами про зменшення запасу вибухонебезпечної речовини до безпечної кількості.

Висновки до розділу

У цій частині дипломної роботи визначено потенційно небезпечні та шкідливі фактори, при виконанні роботи, розраховано освітленість робочого простору, що відповідає нормам.

Проаналізовано пожежну безпеку в приміщенні, та дійшли висновку що вона відповідає вимогам. Також був проведений аналіз електробезпеки приміщення в результаті чого встановлено, що він відповідає ПУЕ 2017 «Електробезпека. Захисне заземлення, занулення».

В результаті встановлено, що приміщення відповідає державним нормам та забезпечує комфортні умови праці.

ВИСНОВКИ

Аналіз відомих систем накопичення стиснутого повітря дозволив запропонувати новий спосіб накопичення енергії стиснутого повітря, для пневматичних приводів двосторонньої дії.

Для проектування системи рекуперації проведені розрахунки модуля накопичення енергії стиснутого повітря, що дозволило отримати раціональні параметри для побудови математичної моделі модуля рекуперації.

Для перевірки роботи системи розроблено математичну модель, яка перевірена на коректність роботи. Перевірка моделей підтвердила коректність та адекватність роботи моделі і її компонентів.

Проведені модельні дослідження дозволили встановити раціональні параметри інтенсивності гальмування, який виражено через відсоток залишкового робочого ходу, що складає 20% від повного робочого ходу пневматичного циліндра, об'єму ресивера для пневматичного циліндра та максимального тиску наповнення ресиверу модуля рекуперації стиснутого повітря.

Модернізовано експериментальний стенд на базі експериментального стенду для дослідження динамічних характеристик об'ємного пневмоприводу, що дозволить уточнити параметри для уточнення математичної моделі.

В розділі розроблено стартап-проект. По таким пунктам, як технологічний аудит ідеї проекту, аналіз ринку стартап проекту у світі, розроблення ринкової стратегії проекту, розробка маркетингової програми стартап – проекту.

В розділі охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях було розглянуто та допрацьовано, санітарно-гігієнічна норми приміщення лабораторії та вимоги до мікроклімату під час роботи над дисертацією, освітлення під час роботи в лабораторії.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Деремед В.С. Доцільність застосування рекуперації пневматичної енергії у залізничному транспорті/ В.С. Деремед, О.С. Галецький // тези доповіді Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «інновації молоді - машинобудуванню» // Київ – 2017.
2. <http://www.klingenburg-usa.com/knowledge/regeneration-recuperation/>
3. <https://www.intechopen.com/books/advances-in-mechatronics/mechatronic-systems-for-kinetic-energy-recovery-at-the-braking-of-motor-vehicles>
4. <https://rzd-puteetz.ru/pnevmaticheskij-privod-putevyh-mashin>
5. http://electri4ka.com/e_postoianiy_t/epot_49.html
6. http://scbist.com/scb/uploaded/elektropoezda/epot_49.html
7. http://spezz.ru/zil_4331_tormoza_i_rulevoe_upravlenie.html
8. <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2017/paper/download/6930/2128>
9. Деремед В.С. Система рекуперації кінетичної енергії в енергію стиснутого повітря для транспортних засобів / В.С. Деремед, О.С. Галецький // тези доповіді Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «інновації молоді - машинобудуванню» // Київ – 2018.
10. Деремед В.С. Експериментальний стенд для дослідження ефективності системи перетворення кінетичної енергії в енергію стиснутого повітря / В.С. Деремед, О.С. Галецький // тези доповіді Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «інновації молоді - машинобудуванню» // Київ – 2019.
11. Gavva, O. Scientific bases of method of synthesis for the structure of machines that provide packing process by foodstuffs / O. Gavva, L. Kruvoplyas-Volodima, M. Maslo // Ukrainian Journal of Food Science. – 2014. – #2 – p. с 96.
12. Суховій О.О. Модернізація лабораторного стенда для дослідження поршневого пневмопривода із системою накопичення енергії стиснутого газу / О.О. Суховій, О.С. Галецький // тези доповіді Всеукраїнська науково-

технічна конференція молодих вчених та студентів «інновації молоді - машинобудуванню» // Київ – 2018.

13. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Основи теорії об'ємного пневмопривода» (частина 2) В. К. Буслов, С. В. Носко. 2007р.

14. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов/ Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др.- 2-е изд., перераб.- М.: Машиностроение, 1982. – 423с., ил.

15. Горчакова О.М. Дослідження ефективності роботи пневмопривода з функцією рекуперації енергії в пристроях пакувального обладнання / О.М. Горчакова, М.В. Якимчук, Л.І. Іванова // Харчова промисловість №20 – 2016.

16. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов/ Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др.- 2-е изд., перераб.- М.: Машиностроение, 1982. – 423с., ил.

17. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

18. Узунов А.В. Циклично-модульный подход в задаче моделирования объектов с гидравлическими компонентами. Промислова гідравліка і автоматика. Всеукраїнський науково-технічний вісник. №1(23) 2009.

19. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. Розділ 1 Загальні правила. Гл.1.7 Заземлення і захисні заходи електробезпеки. – К.:ОЕП "ГРІФЕ", 2006.– 77с.

20. ДНАОП 1.1.10-1.01-2000. Правила безпечної експлуатації електроустановок.

21. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Изменения, 1987.

22. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ДОДАТОК А

Вибір трубопроводів і пневмоапаратури

Значення умовного проходу приєднувальних отворів використовується для вибору трубопроводів, які зв'язують порожнини приводу з пневморозподільником, а також самого пневморозподільника. Їх прохідні розтини повинні відповідати вибраному значенню d_y .

Для допоміжних приводів рекомендується пневморозподільювачі та їх лінії зв'язку вибирати аналогічними основному приводу, як це робиться звичайно на практиці [14].

Обираємо Маслорозпилювач В44-13 (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Маслорозпилювач В44-13

Умовний прохід, мм	10
Тиск, МПа	
номінальний	1,0
мінімальний	0,2
Витрата повітря при тиску 0,4 МПа, м ³ /хв.	
максимальна	0,5
мінімальна	0,1
Втрата тиску при вказаній витраті повітря, МПа більше	не 0,025
Пропускна здатність K_v , л/хв.	20
Діапазон регулювання подачі масла при постійній витраті повітря, капл/хв.	
максимальному	0-40
мініимальному	0-15
Корисна ємність резервуара для масла, см ³	200

Продовження таблиці 2.1

Довговічність, г	6000
Маса, кг	1.00

Обираємо зворотній пневмоклапан 16-1К (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

Зворотній пневмоклапан 16-1К (ГОСТ 21324-75)

Умовний прохід, мм	10
Приєднувальна різьба	K 1/2"
Номінальний тиск, МПа	1,0
Витрата повітря при тиску 0,6 МПа, м ³ /хв.	1,6
Втрата тиску при вказаній витраті повітря, МПа більше	не 0,003
Пропускна здатність K _v , л/хв.	40
Довговічність, г	10 ⁴
Маса, кг	0,330

Обираємо Пневмоклапан послідовності В62-21(таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

Пневмоклапан послідовності В62-21

Умовний прохід, мм	4
Пропускна здатність K _v , л/хв.	2,2
Тиск, МПа	
номінальний	0,63
Втрата тиску при витраті повітря 0,4 Мпа, м ³ /хв.	0,02

Обираємо розподільник типу В63-14М (Р7, Р8, Р9, Р10) (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4

Пневморозподільник типу В63-14М (Р7, Р8, Р9, Р10)

Умовний прохід, мм	12
Приєднувальна різьба	К 3/8”
Тиск номінальний, МПа	0,1
Робочий тиск мінімальний, МПа	0,05
Тиск керування, мінімальний, МПа	0,25
Пропускна здатність K_v , л/хв.	40
Час спрацювання, с.	
включення	0,063
виключення	0,08
Маса, кг	3,5

Обираємо Пневморозподільник KB46-21(P1 – P5) та GB76-21 (P10)
(таблиця 2.5).

Таблиця 2.5

Пневморозподільник KB46-21(P1 – P5) та GB76-21 (P10)

Умовний прохід, мм	2,5
Тиск, номінальний, МПа	0,63
Витрата повітря при тиску 0,4 МПа, м ³ /хв.	0,032
Втрата тиску при вказаній витраті повітря, МПа	0,02
Пропускна здатність K_v , л/хв.	20
Зусилля, необхідне для відкриття клапану при номінальному тиску, кг не більше	3,5 / 4,5
Довговічність, цикл	1*10 ⁶
Маса, кг	0,46/0,28

Редукційний пневмоклапан БВ57-13 (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6

Редукційний пневмоклапан BV57-13

Умовний прохід, мм	10
Приєднувальна різьба	K 3/8"
Тиск номінальний, МПа	0,63
Діапазон регулювання тиску на виході (тиск на лаштування), МПа	0,25
Номінальна витрата повітря при тиску на виході 0,4 МПа, м ³ /хв.	0,4
Зниження тиску на виході при зміні витрати повітря від 0 до номінальної величини, МПа не більше	0,3
Збільшення тиску на виході при зниженні тиску на вході від номінального значення до тиску настройки, МПа не більше	0,04
відкривається клапан відводу тиску в атмосферу, МПа. не більше	0,18
Довговічність, г	5000
Маса, кг	1,4

Фільтр-вологівідділювач В41-33М (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7

Фільтр-вологовідділювач В41-33М

Умовний прохід, мм		10
Приєднувальна різьба		$K \frac{3}{8}$ ”
Тиск, МПа		
номінальний		0,1
мінімальний		0,01
Витрата повітря, м ³ /хв.		
номінальна		1,25
мінімальна		0,25
Втрата тиску при номінальній витраті, МПа більше	не	0,008
Пропускна здатність K_v , л/хв.		60
Ступінь вологовідділювання, % менше	не	90
Номінальна тонкість фільтрації, мкм		40
Довговічність, год.		6000

Обираємо трубопроводи (таблиця 2.8).

Таблиця 2.8

Трубопроводи

Вид трубопроводів: труби сталіні водогазопровідні (ГОСТ 3262-75).		
Умовний прохід, мм		10
Товщина стінки, мм		2,0
Гідравлічний тиск випробування, МПа		2,5
Матеріал: Сталь по ГОСТ 380-71 без покриття чи з цинковим покриттям зовнішньої та внутрішньої поверхні труби.		

Реле часу В61-21 (таблиця 2.9).

Таблиця 2.9

Реле часу В61-21

Умовний прохід, мм	4
Пропускна здатність K_v , л/хв.	1,12
Тиск, МПа	
номінальний	0,63
Маса, кг	1,42

ДОДАТОК Б