

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
В. о. завідувача кафедри АКІТ,
кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделев
“ ____ ” _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА НАУКОВА РОБОТА
на тему: «Автоматизація процесів газообміну в двигунах внутрішнього згорання
без застосування розподільчих валів»

Пояснювальна записка

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – МНР – 671. 21817104

Студент _____ Розганяєв Д.О.

Керівник _____ Прищепов О.Ф.

Консультант _____ Григор'єва Л.І.

(дата)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення: Комп'ютерних наук
Кафедра, циклова комісія: Автоматизація та КІТ
Освітньо-кваліфікаційний рівень: рівень вищої освіти другий (магістр)

Напрямок підготовки 151 «Автоматизація та приладобудування»

(шифр і назва)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри, голова циклової комісії

Сідєлєв М. І. _____

“ ____ ” _____ 2023 р

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ НАУКОВУ РОБОТУ

Розганяєв Данило Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)

«Автоматизація процесів газообміну в двигунах внутрішнього згорання без застосування розподільчих валів»

керівник проекту (роботи) канд.техн.наук, доцент Прищєпов Олег Федорович,
затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 2023 р. № __

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 21.06. 2024

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Об'єктом: Об'єктом дослідження є процеси газообміну в двигунах внутрішнього згорання, зокрема системи впуску та випуску газів, а також їх вплив на роботу двигуна, ефективність, надійність і екологічність.

Предметом: Предметом дослідження є автоматизовані системи управління газообміном, які працюють без використання розподільчих валів. Це включає електронні та електромеханічні системи управління клапанами, що забезпечують оптимальне регулювання впуску та випуску газів відповідно до режимів роботи двигуна.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Теоретичні дані про систему газообміну в двигуні внутрішнього згорання, огляд літератури, розробка технічного завдання, розробка робочої програми.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): блок-схема системи газообміну, код робочої програми.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Прищепов О.Ф., доцент кафедри АКІТ	12.10.2023	
2	Прищепов О.Ф., доцент кафедри АКІТ	03.01.2024	
3	Прищепов О.Ф., доцент кафедри АКІТ	03.04.2024	
4	Григор'єва Л.І., професор кафедри екології	19.04. 2024	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження пропозицій теми від керівника	20.09.2023	
2	Обговорення із студентом затвердженої теми	03.10.2023	
3	Формування завдання	10.10.2023	
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	03.11.2023	
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	14.11.2023	
6	Виконання першої частини	01.12.2023	
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	28.12.2023	
8	Передзахист першої частини	26.01.2024	
9	Опрацювання другої частини	05.03.2024	
10	Робота над третьою частиною	09.04. 2024	
11	Робота над розділом з охорони праці	20.05. 2024	
12	Передзахисти	03.06. 2024	
13	Передача (ЕВ) кваліфікаційної роботи	21.06. 2024	

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

У даній роботі розглядається автоматизація процесів газообміну в двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) без застосування розподільчих валів. Дослідження зосереджене на впровадженні електронних та електромеханічних систем управління клапанами, які замінюють традиційні механічні системи. Метою роботи є підвищення ефективності, надійності та екологічності ДВЗ.

У першому розділі розглянуто загальну інформацію по даній темі. У другому розділі створено функціональну схему роботи системи газобміну в двигуні внутрішнього згорання, розібрано різноманітні датчики які можна підібрати для роботи даної системи і розроблено код програми для роботи системи. В третьому розділі було досліджено ефективність роботи системи. В четвертому розділі було розібрано питання охорони праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

Дослідження в цій області відкривають перспективи для створення більш ефективних, надійних та екологічно чистих двигунів внутрішнього згорання. Результати цієї роботи можуть бути використані у різних галузях, включаючи автомобільну промисловість, суднобудування та виробництво енергетичного обладнання.

Дипломна робота містить 102 ст., 18 рис., 6 табл., 24 посилань.

Ключові слова: Датчик, автоматизація, система газообміну, код програми, двигун, датчик тиску, датчик температури, Датчик положення колінчастого валу, Датчик масової витрати повітря.

Abstract

This paper considers the automation of gas exchange processes in internal combustion engines (ICEs) without the use of camshafts. The research focuses on the implementation of electronic and electromechanical valve control systems that replace traditional mechanical systems. The purpose of the work is to increase the efficiency, reliability and environmental friendliness of the internal combustion engine.

In the first section, general information on this topic is considered. In the second chapter, a functional diagram of the gas exchange system in the internal combustion engine was created, various sensors that can be selected for the operation of this system were analyzed, and the program code for the operation of the system was developed. In the third section, the effectiveness of the system was investigated. In the fourth chapter, the issue of labor protection and safety in emergency situations was analyzed.

Research in this area opens up prospects for creating more efficient, reliable and environmentally friendly internal combustion engines. The results of this work can be used in various industries, including the automotive industry, shipbuilding and power equipment manufacturing.

The thesis contains 102 articles, 18 figures, 6 tables, 24 references.

Keywords: Sensor, automation, gas exchange system, program code, engine, pressure sensor, temperature sensor, crankshaft position sensor, mass air flow sensor.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	10
1.1.Історія процесів газообміну в двигунах внутрішнього згорання.	10
1.2. Для чого не обхідна система газообміну в двигуні внутрішнього згорання.	13
1.3. Класифікація систем газообміну в двигунах внутрішнього згорання.	16
1.4. Переваги і недоліки різних систем газообміну в двигунах внутрішнього згорання.	19
1.5. Принцип роботи системи газообміну в двигунах внутрішнього згорання.	22
1.8. Майбутні тенденції розвитку систем газообміну ДВЗ.	28
1.9.Приклад сучасного управління контролю подачі паливної суміші	30
ВИСНОВКИ ДО 1 РОЗДІЛУ	32
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ГАЗООБМІНУ В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ БЕЗ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗПОДІЛЬЧИХ ВАЛІВ	34
2.1.Система газообміну в двигунах внутрішнього згорання без розподільчих валів з електромагнітним елементом.	34
2.2.Датчики	37
2.3.Проблеми та недоліки при проектуванні данної системи автоматизації.	46
2.4.Переваги системи	49
2.5. Розробка функціональної схеми системи газообміну.	52
2.6 Розробка коду робочої програми	61
ВИСНОВКИ ДО 2 РОЗДІЛУ	68
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ	69
3.1.Розрахунок для різних режимів роботи.	75
3.2.Розрахунок для двигуна без розподільчого валу.	80

3.3.Порівняння розразунків.....	83
ВИСНОВКИ ДО 4 РОЗДІЛУ.....	86
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....	87
4.1. Мікrokліматичні умови в приміщенні з верстатами.....	87
4.2. Цивільний захист на підприємстві з верстатами.....	92
Цивільний захист на підприємстві з верстатами в Україні.....	95
ВИСНОВКИ ДО 4 РОЗДІЛУ.....	97
ВИСНОВКИ.....	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	100

ВСТУП

Актуальність теми: враховуючи необхідність вітчизняного автопрому мати конкурентноспроможність з іноземними марками автомобілів в своєму ціновому сегменті такими як: Opel, Renault, Mitsubishi і інші. Автоматизувавши процесів газобоміну в двигуні внутрішнього згорання без застосування розподільчих валів підвищить надійність двигуна і підніме ефективність його роботи. В свою чергу це підвищить конкурентноспроможність вітчизняного автопрому.

Мета: Забезпечення газообміну різних режимах двигуна. Автоматизація даного процесу підвищить ефективність роботи двигуна внутрішнього згорання шляхом покращення подачі паливної суміші в камеру згорання поршня двигуна.

Об'єкт: Об'єктом дослідження є процеси газообміну в двигунах внутрішнього згорання, зокрема системи впуску та випуску газів, а також їх вплив на роботу двигуна, ефективність, надійність і екологічність.

Предмет: Предметом дослідження є автоматизовані системи управління газообміном, які працюють без використання розподільчих валів. Це включає електронні та електромеханічні системи управління клапанами, що забезпечують оптимальне регулювання впуску та випуску газів відповідно до режимів роботи двигуна.

Постановка завдання:

- Аналіз патентної інформації розробки системи газообміну в двигунах внутрішнього згорання без застосування розподільчих валів.
- Розробка функціональної схеми роботи системи газообміну в двигуні автомобіля.
- Розробка програмного забезпечення для зміни режимів роботи в двигуні внутрішнього згорання.
- Проаналізувати необхідні датчики для роботи системи.
- Дослідити ефективність роботи даної системи.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1.1. Історія процесів газообміну в двигунах внутрішнього згоряння.

Процеси газообміну в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) мають багату історію, яка розпочинається з ранніх розробок парових машин у 17 столітті. З часом ці процеси еволюціонували, щоб відповідати потребам більш ефективних і потужних двигунів.[1]

Ранні розробки

Перші ДВЗ, винайдені в 19 столітті, використовували прості механізми для подачі паливо-повітряної суміші в камеру згоряння та виведення відпрацьованих газів. Ці механізми зазвичай ґрунтувалися на клапанах, які відкривалися та закривалися вручну або за допомогою механічних приводів.

Подальший розвиток

У 20 столітті розробка ДВЗ значно прискорилася. З'явилися нові матеріали та технології, що дозволило створювати більш складні та ефективні двигуни. Це призвело до розробки нових методів газообміну, таких як:

- **Клапанне газорозподілення:** Цей метод використовує клапани, керовані кулачками або гідравлікою, для точного контролю часу відкриття та закриття впускних та випускних клапанів. Це дозволяє оптимізувати процес газообміну для різних режимів роботи двигуна.
- **Газотурбінний наддув:** Цей метод використовує турбіну, що приводиться в рух відпрацьованими газами, для нагнітання повітря в камеру згоряння. Це дозволяє збільшити щільність заряду, що призводить до більшої потужності та ефективності.
- **Компресорний наддув:** Цей метод використовує компресор, що приводиться в рух механічним приводом від двигуна, для нагнітання

повітря в камеру згоряння. Це схоже на газотурбінний наддув, але дає більший контроль над тиском наддуву.

Сучасні технології

На даний час використовуються високотехнологічні двигуни які є відносно надійними і мають свої проблеми(Рис.1).



Рисунок 1 – Голий блок циліндрів двигуна V8

Сьогодні ДВЗ використовують найсучасніші технології газообміну, такі як:

- Змінне клапанне газорозподілення: Ця технологія дозволяє динамічно змінювати час відкриття та закриття впускних та випускних клапанів, що оптимізує процес газообміну для різних режимів роботи двигуна.
- Безпосереднє впорскування палива: Ця технологія впорскує паливо безпосередньо в камеру згоряння, що покращує розпилення та

сумішоутворення, що призводить до більш чистого та ефективного згоряння.

- Турбонаддув з подвійним впуском: Ця технологія використовує два турбонагнітачі різного розміру для нагнітання повітря в камеру згоряння, що забезпечує широкий діапазон крутного моменту та потужності. [1]

Вплив на екологію

Процеси газообміну в ДВЗ мають значний вплив на навколишнє середовище. Відпрацьовані гази ДВЗ містять шкідливі речовини, такі як оксиди азоту (NO_x), оксид вуглецю (CO) та тверді частинки (PM). Розробка більш ефективних та екологічно чистих методів газообміну є одним із ключових напрямків досліджень у галузі ДВЗ.

Майбутнє

У майбутньому очікується, що процеси газообміну в ДВЗ продовжуватимуть розвиватися, щоб стати більш ефективними, екологічно чистими та потужними. Це може включати розробку нових методів наддуву, впорскування палива та систем управління газообміном.

1.2. Для чого не обхідна система газообміну в двигуні внутрішнього згорання.

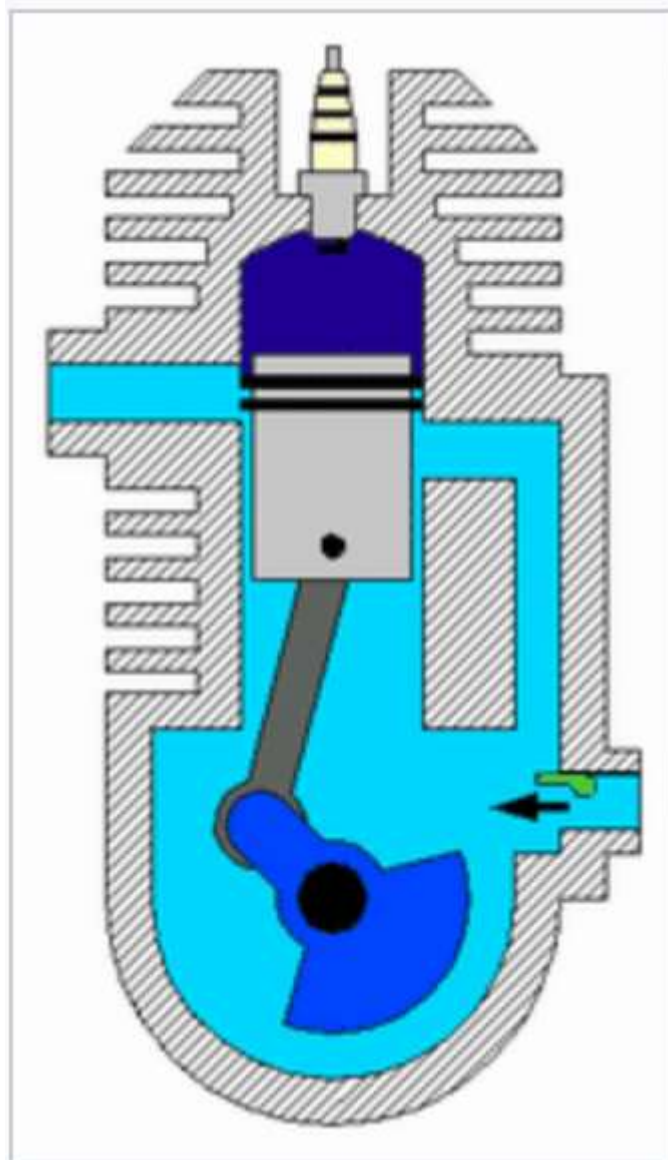


Рисунок 2 – процес газообміну

1. Подача свіжого повітря:

- Система газообміну подає свіже повітря в камеру згорання, де воно змішується з паливом. Це повітря необхідне для процесу згорання, який генерує енергію, що приводить в рух поршні двигуна(Рис.2).

2. Виведення відпрацьованих газів:

- Система газообміну видаляє відпрацьовані гази з камери згоряння після того, як вони виконали свою роботу. [2]Ці гази містять шкідливі речовини, такі як оксиди азоту (NOx), оксид вуглецю (CO) та тверді частинки (PM), які необхідно вивести з двигуна, щоб не забруднювати навколишнє середовище.

3. Контроль процесу згоряння:

- Система газообміну контролює час і спосіб подачі свіжого повітря та виведення відпрацьованих газів. Це дозволяє оптимізувати процес згоряння для максимальної потужності, ефективності та мінімального викиду шкідливих речовин.

4. Охолодження двигуна:

- У деяких випадках система газообміну також використовується для охолодження двигуна. Свіже повітря може направлятися через канали в блоці циліндрів або головці блоку, щоб відводити тепло від двигуна.

5. Підвищення потужності:

- Деякі системи газообміну, такі як турбонаддув і компресорний наддув, використовуються для збільшення щільності заряду в камері згоряння. Це призводить до більш потужного згоряння та збільшення потужності двигуна.

6. Зниження викидів:

- Сучасні системи газообміну розроблені для зменшення викидів шкідливих речовин з ДВЗ. Це може включати використання каталітичних нейтралізаторів, систем рециркуляції відпрацьованих газів та інших технологій[3].

7. Підвищення економії палива:

- Ефективна система газообміну може допомогти покращити економію палива двигуна. Це пов'язано з тим, що вона забезпечує більш повне згоряння палива та зменшує втрати енергії.

Система газообміну є однією з найважливіших частин ДВЗ. Вона відіграє ключову роль у роботі двигуна, забезпечуючи його потужність, ефективність, екологічність та довговічність.

1.3. Класифікація систем газообміну в двигунах внутрішнього згорання.

Системи газообміну в двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) класифікуються за кількома ключовими параметрами:

1. Тип газорозподільного механізму:

- Клапанний газорозподіл: Найпоширеніший тип газорозподілу, який використовує клапани, що управляються кулачками, гідравлікою або пневматикою, для контролю над впуском та випуском газів.
- Безклапанний газорозподіл: Менш поширений тип газорозподілу, який використовує інші механізми, такі як портові заслінки або обертові диски, для контролю над впуском та випуском газів[4].

2. Спосіб подачі повітря:

- Атмосферний наддув: Повітря в камеру згорання подається під атмосферним тиском.
- Наддув: Повітря в камеру згорання подається під тиском, що перевищує атмосферний. Наддув може бути динамічним (за допомогою турбіни або компресора) або механічним (за допомогою нагнітача, що приводиться в рух від колінвалу).

3. Спосіб впорскування палива:

- Зовнішнє сумішоутворення: Паливо та повітря змішуються у впускному колекторі або у впускному каналі циліндра перед подачею в камеру згорання.
- Внутрішнє сумішоутворення: Паливо впорскується безпосередньо в камеру згорання, де воно змішується з повітрям.

4. Кількість клапанів на циліндр:

- Двохклапанні: Два клапани на циліндр: один впускний та один випускний.
- Чотириклапанні: Чотири клапани на циліндр: два впускні та два випускні.

5. Фази газорозподілу:

- Однофазний газорозподіл: Відкриття та закриття впускних та випускних клапанів відбувається протягом одного робочого циклу двигуна.
- Двофазний газорозподіл: Відкриття та закриття впускних та випускних клапанів[5] може відбуватися протягом двох або більше робочих циклів двигуна.

6. Тип приводу газорозподільного механізму:

- Кулачковий привід: Найпоширеніший тип приводу, який використовує кулачки на колінвалу для відкриття та закриття клапанів.
- Гідравлічний привід: Використовує гідравлічну систему для керування клапанами.
- Пневматичний привід: Використовує пневматичну систему для керування клапанами.

7. Наявність системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR):

- З EGR: Відпрацьовані гази частково рециркулюються в камеру згоряння для зниження викидів NOx.
- Без EGR: Відпрацьовані гази не рециркулюються.

8. Наявність каталітичного нейтралізатора:

- З каталізатором: Каталітичний нейтралізатор використовується для зниження викидів шкідливих речовин.

- Без каталізатора: Каталітичний нейтралізатор не використовується.

Вибір типу системи газообміну для конкретного ДВЗ залежить від багатьох факторів, таких як тип двигуна, його робочі характеристики, екологічні вимоги та інші.

1.4. Переваги і недоліки різних систем газообміну в двигунах внутрішнього згорання.

Вибір типу системи газообміну для конкретного ДВЗ залежить від багатьох факторів, таких як тип двигуна, його робочі характеристики, екологічні вимоги та інші. Кожен тип системи газообміну має свої переваги та недоліки, які необхідно враховувати при виборі. [9]

Клапанний газорозподіл:

Переваги:

- Проста конструкція: Клапанний газорозподіл має просту та надійну конструкцію, що робить його доступним за ціною та легким у обслуговуванні.
- Гнучкість: Клапанний газорозподіл може бути налаштований для різних режимів роботи двигуна за допомогою зміни фаз газорозподілу та підйому клапанів.
- Ефективність: Сучасні системи клапанного газорозподілу можуть бути дуже ефективними, забезпечуючи мінімальні втрати тиску та гарне наповнення циліндрів.

Недоліки:

- Механічні втрати: Клапанний газорозподіл має значні механічні втрати через тертя та інерцію рухомих частин.
- Шум: Клапанний газорозподіл може бути джерелом шуму, особливо на високих оборотах двигуна.
- Обмеження по частоті обертання: Клапанний газорозподіл має обмеження по частоті обертання двигуна через інерцію рухомих частин.

Безклапанний газорозподіл

Переваги:

- Низькі механічні втрати: Безклапанний газорозподіл має значно менші механічні втрати, ніж клапанний, через відсутність рухомих частин.
- Тихий: Безклапанний газорозподіл може бути значно тихішим, ніж клапанний, через відсутність стуку клапанів.
- Висока частота обертання: Безклапанний газорозподіл може дозволити більш високі частоти обертання двигуна, ніж клапанний.

Недоліки:

- Складна конструкція: Безклапанний газорозподіл має більш складну конструкцію, ніж клапанний, що робить його дорожчим у виробництві та обслуговуванні.
- Обмежена гнучкість: Безклапанний газорозподіл може бути менш гнучким, ніж клапанний, у налаштуванні фаз газорозподілу та підйому клапанів.
- Ефективність: Ефективність безклапанного газорозподілу може бути гіршою, ніж клапанного, через обмеження у конструкції.

Наддув

Переваги:

- Збільшення потужності: Наддув може значно збільшити потужність двигуна за рахунок збільшення щільності заряду в камері згоряння.
- Покращення економічності: Наддув може покращити економічність двигуна, дозволяючи використовувати меншу кількість палива для отримання тієї ж потужності.

- Зниження викидів: Наддув може допомогти знизити викиди шкідливих речовин, дозволяючи використовувати більш бідну паливо-повітряну суміш.

Недоліки:

- Складність: Наддувні системи роблять двигун більш складним і дорогим.
- Зниження ресурсу: Наддув може призвести до зниження ресурсу двигуна через збільшення навантажень на його деталі.
- Ризик детонації: Наддув може збільшити ризик детонації, що може пошкодити двигун.

Внутрішнє сумішоутворення

Переваги:

- Краще згоряння: Внутрішнє сумішоутворення може забезпечити більш повне та ефективне згоряння палива, що призводить до більшої потужності та економії.
- Зниження викидів: Внутрішнє сумішоутворення може допомогти знизити викиди шкідливих речовин, таких як NOx.
- Зниження шуму.

1.5. Принцип роботи системи газообміну в двигунах внутрішнього згорання.

Принцип роботи системи газообміну в двигунах внутрішнього згорання пов'язаний із циклом згорання, який включає ряд процесів, таких як вприскування пального, зжимання повітря, займання суміші та вивід вихлопних газів. Розглянемо основні етапи цього процесу, взявши за приклад бензиновий двигун з системою Отто:

1. Засмоктування повітря:

- Під час ходу впуску поршень рухається вниз, створюючи вакуум у циліндрі.
- Дросельна заслінка контролює кількість впущеного повітря, відсмоктуючи його через вихідний вентиль.

2. Зжимання повітря:

- Поршень рухається вгору, зжимаючи повітря, що було засмоктане.
- Зжимання повітря підвищує його температуру і тиск.

3. Вприскування пального:

- У верхньому положенні поршень, система вприскування подає туман пального в камеру згорання.
- Відношення повітря та пального (суміші) контролюється для забезпечення ефективного згорання. [10]

4. Займання суміші:

- Система іскрового запалювання (свічка запалювання) виробляє іскру, яка спричинює займання суміші повітря та пального.
- Займання запускає вибуховий процес, під час якого суміш згорає, виділяючи теплову енергію.

5. Використання енергії:

- Розгортається теплова енергія, вивільнена під час згорання суміші, і приводить у рух поршень, які пов'язані з колінчастим валом.

6. Вивід вихлопних газів:

- Коли поршень рухається вгору вниз, відбувається відкидання вихлопних газів через вихідний клапан.
- Система виводить вихлопні гази з камери згорання, готуючи двигун до наступного циклу.

Цей цикл, відомий як цикл Отто для бензинових двигунів, або цикл Дизеля для дизельних двигунів, повторюється при кожному обертанні колінчастого валу. Принцип роботи системи газообміну визначається такими факторами, як вибір системи вприскування, конструкція камери згорання, спосіб зжимання повітря, і, відповідно, цикл згорання, який використовується. Кожен з цих аспектів може впливати на продуктивність, споживання пального, викиди і загальну ефективність двигуна.

1.6. Оптимізація системи газообміну ДВЗ

Оптимізація системи газообміну є критичною для досягнення бажаних характеристик двигуна, таких як потужність, економічність, викиди та довговічність. Ось деякі стратегії, які можуть бути використані для оптимізації системи газообміну:

- Оптимізація фаз газорозподілу: Регулювання часу відкриття та закриття впускних і випускних клапанів може покращити заповнення циліндрів свіжим повітрям, забезпечити повніше згоряння палива та зменшити втрати відпрацьованих газів.
- Збільшення підйому клапанів: Збільшення ступеня відкриття впускних і випускних клапанів може покращити швидкість потоку повітря та відпрацьованих газів, що сприяє кращому наповненню циліндрів та очищенню.
- Зменшення втрат на тертя: Використання матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя та оптимізація конструкції деталей системи газорозподілу можуть зменшити втрати енергії на тертя, що покращує ефективність двигуна. [11]
- Застосування систем змінного газорозподілу: Системи, такі як система газорозподілу з подвійним валом (DOHC) або система змінних фаз газорозподілу (VVT), дозволяють динамічно змінювати фази газорозподілу залежно від режиму роботи двигуна, що покращує його характеристики на різних обертах.
- Використання ефективних систем впуску: Системи впуску з довгим впускним колектором або використання резонансних ефектів можуть покращити заповнення циліндрів свіжим повітрям на низьких обертах двигуна.
- Застосування прямого впорскування палива: Впорскування палива безпосередньо в камеру згоряння дозволяє більш ефективно його використовувати та покращує процес згоряння.

- Використання турбокомпресорів або механічних нагнітачів: Наддув повітря в камеру згоряння збільшує щільність заряду, що дозволяє отримати більшу потужність з того ж об'єму двигуна.

Важливо знайти баланс між різними цілями оптимізації. Наприклад, збільшення підйому клапанів може покращити потужність, але також може призвести до зниження економічності двигуна. Інженери повинні враховувати всі ці фактори при проектуванні та налаштуванні системи газообміну для конкретного ДВЗ.

Додаткові аспекти оптимізації:

- Комп'ютерне моделювання: Використання комп'ютерного моделювання дозволяє інженерам віртуально тестувати різні конфігурації системи газообміну та оцінювати їх вплив на характеристики двигуна.
- Використання легких матеріалів: Застосування легких матеріалів для деталей системи газорозподілу може зменшити масу двигуна та покращити його динамічні характеристики.
- Зменшення теплових втрат: Оптимізація системи охолодження двигуна дозволяє підтримувати оптимальну температуру компонентів системи газорозподілу, що покращує їхню ефективність.

Оптимізація системи газообміну є постійним процесом досліджень та розробок в інженерії двигунів внутрішнього згоряння. [11] Цілеспрямована оптимізація дозволяє виробникам двигунів досягти кращої потужності, економії палива, зниження викидів та загальної ефективності.

1.7. Енергоефективність

Після займання та згоряння продукти згоряння — гарячі гази — мають більше доступної теплової енергії, ніж початкова стиснена паливно-повітряна суміш (яка мала вищу хімічну енергію). Ця доступна енергія проявляється у вигляді вищої температури та тиску, які двигун може перетворити на кінетичну енергію. У поршневому двигуні гази під високим тиском всередині циліндрів приводять у рух поршні двигуна.

Після видалення доступної енергії гарячі гази, що залишилися, випускаються (часто шляхом відкриття клапана або відкриття випускного отвору), і це дозволяє поршню повернутися в попереднє положення (верхня мертва точка, або ВМТ). Потім поршень може перейти до наступної фази свого циклу, яка відрізняється в залежності від двигуна. Будь-яка тепла енергія, яка не перетворюється на роботу, зазвичай вважається відходом і видаляється з двигуна повітряною або рідинною системою охолодження.

Двигуни внутрішнього згоряння вважаються тепловими двигунами (оскільки виділення хімічної енергії при згорянні має той самий ефект, що й передача тепла в двигун), і тому їх теоретичний ККД можна приблизно оцінити ідеалізованими термодинамічними циклами. Термічний ККД теоретичного циклу не може перевищувати ККД циклу Карно, ефективність якого визначається різницею між нижньою та верхньою робочими температурами двигуна. Верхня робоча температура двигуна обмежена двома основними факторами; температурні робочі межі матеріалів і стійкість до самозаймання палива. Усі метали та сплави мають межу термічної експлуатації, і є значні дослідження керамічних матеріалів, які можна виготовити з більшою термічною стабільністю та бажаними структурними властивостями. Вища термостабільність забезпечує більшу різницю температур між нижньою (навколишньою) і верхньою робочими температурами, отже, більшу термодинамічну ефективність. Крім того, у міру підвищення температури циліндра паливо стає більш схильним до самозаймання. Це відбувається, коли температура циліндра наближається до температури

спалаху заряду. У цей момент запалювання може статися спонтанно, перш ніж спрацює свічка запалювання, викликаючи надмірний тиск у циліндрі. Самозаймання можна пом'якшити, використовуючи паливо з високим опором до самозаймання (октанове число), однак це все одно встановлює верхню межу допустимої пікової температури циліндра.

Термодинамічні обмеження припускають, що двигун працює в ідеальних умовах: світ без тертя, ідеальні гази, ідеальні ізолятори та робота протягом нескінченного часу. Програми реального світу створюють складності, які знижують ефективність. Наприклад, реальний двигун найкраще працює при певному навантаженні, яке називається діапазоном потужності. Двигун автомобіля, що їде по шосе, зазвичай працює значно нижче свого ідеального навантаження, оскільки він розрахований на вищі навантаження, необхідні для швидкого прискорення. Крім того, такі фактори, як опір вітру, знижують загальну ефективність системи. Економія палива автомобіля вимірюється в милях на галон або в літрах на 100 кілометрів. Об'єм вуглеводню передбачає стандартний вміст енергії.

Навіть за допомогою турбонагнітачів і систем підвищення ефективності, більшість двигунів зберігають середню ефективність близько 18-20%.[5] Однак новітні технології в двигунах Формули-1 дозволили збільшити теплову ефективність понад 50% [6]. Існує багато винаходів, спрямованих на підвищення ефективності двигунів внутрішнього сполучення. Загалом практичні двигуни завжди піддаються компромісу між різними властивостями, такими як ефективність, вага, потужність, нагрів, відгук, викиди вихлопних газів або шум. Іноді економія також відіграє важливу роль не лише у вартості виробництва самого двигуна, але й у виробництві та розповсюдженні палива. Підвищення ефективності двигуна забезпечує кращу економію палива, але лише за умови, що вартість палива на вміст енергії є однаковою.

1.8. Майбутні тенденції розвитку систем газообміну ДВЗ.

З огляду на зростаючі вимоги до екологічності та ефективності використання палива, системи газообміну ДВЗ продовжують розвиватися. Ось деякі очікувані тенденції:

- Широке застосування систем змінного газорозподілу: Системи VVT (Variable Valve Timing - змінні фази газорозподілу) та системи змінного підйому клапанів стануть більш поширеними, дозволяючи двигуну працювати більш ефективно в різних режимах.
- Розвиток електронного управління газообміном: Електронні системи управління двигуном (ECU) матимуть більший контроль над системою газообміну, дозволяючи більш точну оптимізацію фаз та підйому клапанів.
- Застосування альтернативних матеріалів: Композитні матеріали та легкі сплави можуть використовуватися для деталей системи газорозподілу з метою зменшення маси та покращення їхньої зносостійкості.
- Розвиток безклапанного газорозподілу: Хоча наразі менш поширені, системи безклапанного газорозподілу можуть отримати більшого розвитку завдяки їх потенційним перевагам, таким як зниження втрат на тертя та можливість більш гнучкого управління газообміном.
- Інтеграція з гібридними та електричними силовими установками: У міру розвитку гібридних та електричних автомобілів, системи газообміну ДВЗ, які використовуються в цих силових установках, будуть оптимізовані для роботи в режимах рекуперації енергії та спільної роботи з електродвигунами.
- Впровадження систем рециркуляції відпрацьованих газів з низьким тиском (LP EGR): Ці системи дозволяють рециркулювати більшу кількість відпрацьованих газів на різних режимах роботи двигуна, що сприяє зниженню викидів NOx без значного впливу на ефективність.

- Розвиток систем з управління тепловим режимом двигуна: Оптимізація теплового режиму двигуна дозволить покращити ефективність згоряння палива та знизити втрати тепла, що позитивно вплине на роботу системи газообміну.

Ці тенденції розвитку спрямовані на створення більш ефективних, екологічних та економічних ДВЗ. Інженери постійно шукають нових способів оптимізувати системи газообміну, щоб відповідати майбутнім вимогам до автомобільної промисловості.

1.9. Приклад сучасного управління контролю подачі паливної суміші

Розроблено новий привід для газообмінних клапанів багатоклапанного багаточиліндрового автомобільного двигуна виготовляється, збирається, демонструється та демонструється на Рис. 3. Стендове випробування верхньої частини та головки блоку циліндрів було виконано, а результати будуть представлені обговорювалися та тісно погоджувалися з моделювання аналізів. Системні вимоги до живлення достатньо низький, щоб працювати від стандартної автомобільної електричної системи 12 В. Ці результати продемонструвати, що привод досягає бажаної потужності, силу та вимоги до продуктивності контролю за повною мірою гнучкий EVA.

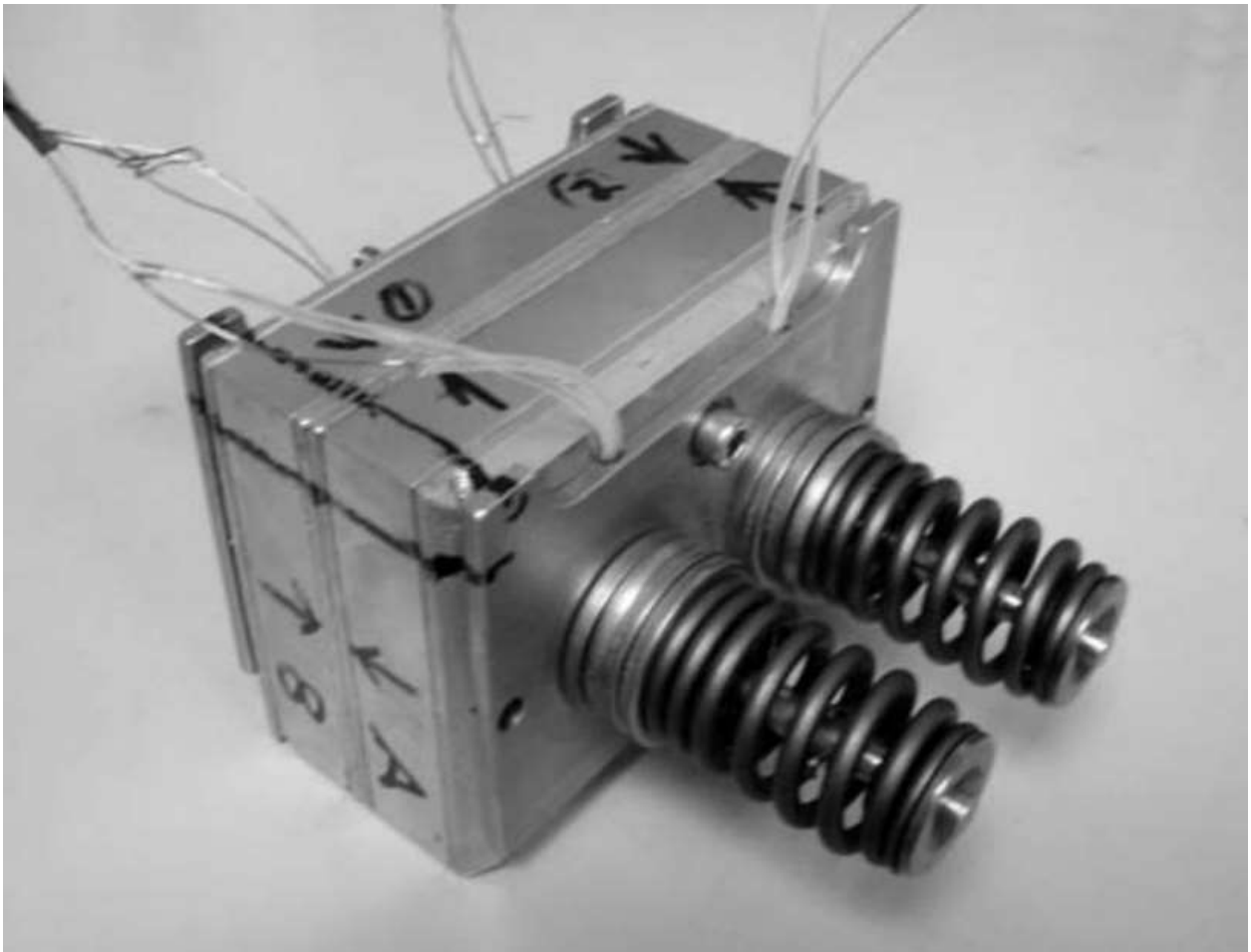


Рисунок 3 – Повністю гнучкий електромагнітний клапан привід

Приведення в дію клапана включає фази газорозподілу, підйом клапана та тривалість підйому (або перебування). Повністю гнучкий привід клапана (FFVA) підхід може максимізувати продуктивність двигун. FFVA дозволяє адаптувати роботу клапана навантаження двигуна, швидкість, температура навколишнього середовища, тиск повітря (висота), тип палива та інші змінні. FFVA забезпечує повністю змінний рух клапана, включаючи змінний газорозподіл клапана, змінний підйом і змінна тривалість, обмежена тільки динамічними характеристиками приводу клапана. Крім того траєкторія клапана може мати довільну конструкцію, тобто клапан відкритий до часткового клапана підйом, потім підвищений підйом, потім зменшений підйом і, нарешті, клапан закритий (нульовий підйом). Добре відомі переваги FFVA покращена економія палива, підвищений крутний момент на низьких частотах та знижені викиди. [7, 8]

ВИСНОВКИ ДО 1 РОЗДІЛУ

Система газообміну є однією з найважливіших систем двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). Вона відповідає за подачу свіжого повітря, видалення відпрацьованих газів та контроль процесу згоряння палива, що впливає на потужність, економічність, викиди та загальну ефективність двигуна.

Існує декілька типів систем газообміну, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Найпоширеніший тип - клапанний газорозподіл, який використовує клапани для керування потоком газів. Інші типи, такі як безклапанний газорозподіл та наддув, також використовуються, хоча й менш поширені.

Оптимізація системи газообміну є критичною для досягнення бажаних характеристик двигуна. Інженери використовують різні стратегії, такі як оптимізація фаз газорозподілу, застосування ефективних систем впуску та використання легких матеріалів, щоб покращити характеристики двигуна.

Майбутні тенденції розвитку систем газообміну ДВЗ спрямовані на покращення їхньої ефективності, екологічності та економічності. Широке застосування електронного управління, альтернативних матеріалів та інтеграція з гібридними та електричними силовими установками є деякими з очікуваних напрямків розвитку.

Загалом, система газообміну відіграє ключову роль в роботі ДВЗ, а її постійне вдосконалення є важливим чинником розвитку сучасних та перспективних автомобілів.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ГАЗООБМІНУ В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ БЕЗ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗПОДІЛЬЧИХ ВАЛІВ

2.1. Система газообміну в двигунах внутрішнього згорання без розподільчих валів з електромагнітним елементом.

Системи газообміну в двигунах внутрішнього згорання без розподільчих валів з електромагнітними елементами є передовою технологією, що дозволяє забезпечити точний контроль над процесом газообміну. Ці системи, відомі як електромагнітні системи керування клапанами (EMVT), замінюють традиційні механічні розподільчі вали електромагнітними приводами, що управляються електронним блоком управління (ECU)[10].

Основні компоненти системи

1. **Електромагнітні приводи:** Кожен клапан оснащений електромагнітним приводом, що складається з двох електромагнітів — для відкриття і закриття клапана.
2. **Клапани:** Впускні і випускні клапани, які управляються електромагнітними приводами.
3. **Електронний блок управління (ECU):** Комп'ютер, що контролює роботу електромагнітних приводів.
4. **Датчики:** Різноманітні датчики, які надають інформацію про стан двигуна, такі як положення колінчастого валу, швидкість обертання, температура, тиск у циліндрах та інші параметри.

Принцип роботи системи

1. **Ініціація процесу:** ECU отримує сигнали від датчиків, що визначають поточний стан двигуна, такі як положення колінчастого валу і швидкість обертання.

2. **Розрахунок часу відкриття і закриття клапанів:** На основі отриманих даних ECU розраховує оптимальні моменти відкриття і закриття кожного клапана, що залежить від умов експлуатації, таких як навантаження на двигун і оберти[11].

3. **Активізація електромагнітів:** ECU подає електричні сигнали на відповідні електромагніти приводів клапанів:

- **Для відкриття клапана:** Електромагніт для відкриття генерує магнітне поле, яке притягує клапан і змушує його відкритися.
- **Для закриття клапана:** Електромагніт для закриття генерує магнітне поле, яке притягує клапан у зворотному напрямку і змушує його закритися.

4. **Контроль тривалості відкриття клапана:** ECU контролює тривалість електричного сигналу до електромагнітів, що дозволяє точно регулювати тривалість відкриття клапанів, забезпечуючи оптимальну суміш повітря і палива та максимальну ефективність згоряння.

5. **Зворотний зв'язок:** Датчики постійно надсилають інформацію про поточний стан двигуна до ECU, що дозволяє в режимі реального часу коригувати роботу клапанів відповідно до змін умов експлуатації[12].

Переваги системи

- **Точність і гнучкість:** Можливість точного керування моментами відкриття і закриття клапанів дозволяє адаптувати роботу двигуна до різних умов і режимів роботи, підвищуючи ефективність та знижуючи викиди.

- **Зменшення механічних втрат:** Відсутність механічних зв'язків між розподільчим валом і клапанами знижує механічні втрати та шум.

- **Надійність:** Менша кількість механічних частин означає менший знос і довговічність компонентів[14].

Виклики та перспективи

- **Складність та вартість:** Високі технологічні вимоги до виготовлення та експлуатації системи можуть збільшити вартість двигуна.
- **Енергоємність:** Система вимагає електричної енергії для роботи електромагнітів, що може впливати на загальну енергоефективність транспортного засобу[13].

Незважаючи на ці виклики, системи газообміну без розподільчих валів з електромагнітними елементами мають великий потенціал для поліпшення ефективності і екологічності двигунів внутрішнього згорання, що робить їх привабливими для майбутнього розвитку автомобільної промисловості.

2.2. Датчики

Для забезпечення точного керування системою електромагнітного газообміну в двигунах внутрішнього згорання без розподільчих валів використовуються різні датчики, які надають інформацію про стан двигуна. Ось деякі з основних датчиків[12]:

1. **Датчик положення колінчастого валу (Crankshaft Position Sensor):** Визначає точне положення колінчастого валу і швидкість його обертання. Ця інформація критично важлива для синхронізації роботи клапанів з рухом поршнів.
2. **Датчик положення розподільчого валу (Camshaft Position Sensor):** Визначає положення розподільчого валу, що використовується для точної синхронізації роботи впускних і випускних клапанів (якщо система все ще має розподільчий вал для інших функцій).
3. **Датчик масової витрати повітря (Mass Air Flow Sensor, MAF):** Вимірює кількість повітря, що надходить у двигун, що дозволяє контролювати співвідношення повітря та палива.
4. **Датчик тиску у впускному колекторі (Manifold Absolute Pressure Sensor, MAP):** Вимірює тиск повітря у впускному колекторі, що допомагає визначити об'єм повітря, що потрапляє у двигун.
5. **Датчик температури охолоджуючої рідини (Coolant Temperature Sensor):** Вимірює температуру охолоджуючої рідини, що дозволяє визначити робочу температуру двигуна і відповідно регулювати процес згорання.
6. **Датчик кисню (Oxygen Sensor, O2 Sensor):** Вимірює рівень кисню у вихлопних газах, що дозволяє оцінити ефективність згорання палива і коригувати подачу палива.

7. **Датчик детонації (Knock Sensor):** Виявляє детонаційні удари в циліндрах двигуна і передає цю інформацію до ECU для корекції моменту запалювання та роботи клапанів.
8. **Датчик положення дросельної заслінки (Throttle Position Sensor, TPS):** Вимірює кут відкриття дросельної заслінки, що допомагає визначити навантаження на двигун.
9. **Датчик тиску масла (Oil Pressure Sensor):** Контролює тиск масла в системі, забезпечуючи належну роботу мастильного механізму двигуна.
10. **Датчик температури повітря на впуску (Intake Air Temperature Sensor, IAT):** Вимірює температуру повітря, що надходить у двигун, що впливає на щільність повітря і, відповідно, на його кількість.

Ці датчики забезпечують систему керування двигуном (ECU) необхідною інформацією для оптимізації процесу згоряння, контролю відкриття і закриття клапанів, а також інших важливих параметрів роботи двигуна.

Датчики тиску у циліндрах двигуна, також відомі як датчики індикаторного тиску або циліндрові тискоміри, використовуються для вимірювання тиску всередині циліндрів двигуна в режимі реального часу. Ось кілька прикладів таких датчиків[15]:

Приклади датчиків тиску у циліндрах

1. **Kistler 6125C:** Цей датчик забезпечує високу точність вимірювання тиску в циліндрах та часто використовується для дослідницьких та випробувальних цілей. Він має високу стійкість до температурних впливів і динамічних навантажень.
2. **AVL GH14P:** Датчик тиску від відомого виробника AVL, який забезпечує високу точність і надійність вимірювань. Використовується у випробувальних лабораторіях для детального аналізу процесів згоряння у двигунах.

3. **PiezoStar Piezoresistive Cylinder Pressure Sensors:** Ці датчики виробляються компанією Kistler і призначені для довгострокового моніторингу тиску у циліндрах. Вони забезпечують високу точність та стабільність вимірювань навіть за екстремальних умов.
4. **Optrand AutoPSI:** Цей датчик використовує п'єзорезистивну технологію для вимірювання тиску у циліндрах і відрізняється високою надійністю та точністю. Він може бути використаний для довгострокового моніторингу в умовах експлуатації двигуна.
5. **Sensata Technologies Cylinder Pressure Sensors:** Sensata пропонує датчики тиску для застосування у двигунах внутрішнього згорання, що забезпечують високу точність і надійність вимірювань у широкому діапазоні умов експлуатації.

Застосування датчиків тиску у циліндрах

- **Дослідження та розробка двигунів:** Використовуються для аналізу процесу згорання і оптимізації робочих параметрів двигуна.
- **Діагностика і технічне обслуговування:** Допомагають виявляти проблеми з компресією та іншими параметрами роботи двигуна[14].
- **Моніторинг у реальному часі:** Забезпечують точне вимірювання тиску у циліндрах під час роботи двигуна, що дозволяє вносити коригування для покращення ефективності та зниження викидів.

Принцип роботи

Ці датчики зазвичай працюють на основі п'єзоелектричних або п'єзорезистивних технологій. Вони встановлюються безпосередньо в циліндрах двигуна або в спеціальних адаптерах і вимірюють тиск газів під час всього циклу роботи двигуна. Дані передаються до електронного блоку управління (ECU) або іншого реєструючого пристрою для подальшого аналізу.

Датчик положення колінчастого валу (Crankshaft Position Sensor, СКР) є одним з ключових компонентів в системі керування двигуном автомобіля. Він забезпечує точну інформацію про положення і швидкість обертання колінчастого валу, що є критично важливим для синхронізації роботи системи запалювання і впорскування палива[17].

Приклади датчиків положення колінчастого валу

1. **Bosch Crankshaft Position Sensors:** Датчики від компанії Bosch відомі своєю високою надійністю і точністю. Вони використовуються в багатьох автомобільних марках і моделях завдяки своїй сумісності і довговічності.
2. **Delphi SS10826 Crankshaft Position Sensor:** Delphi є одним з провідних виробників автомобільних компонентів. Їх датчики положення колінчастого валу забезпечують точні вимірювання і відрізняються високою стійкістю до зношування.
3. **Denso 196-2001 Crankshaft Position Sensor:** Denso виробляє високоякісні датчики, які використовуються в багатьох автомобілях японського виробництва, таких як Toyota, Honda та інші.
4. **ACDelco 213-354 Crankshaft Position Sensor:** Датчики від ACDelco є оригінальними запчастинами для автомобілів General Motors. Вони забезпечують високу точність і надійність роботи.
5. **NTK Engine Crankshaft Position Sensor:** NTK, підрозділ NGK Spark Plug Co., пропонує високоточні датчики, які відомі своєю довговічністю і високою стійкістю до екстремальних умов експлуатації.

Принцип роботи датчика положення колінчастого валу

Датчики положення колінчастого валу можуть бути двох основних типів:

1. **Індуктивні датчики (Magnetic/Inductive Sensors):** Ці датчики генерують змінний струм на основі магнітного поля, яке змінюється внаслідок обертання колінчастого валу. Вони складаються з магніту та котушки, і

використовують зубчасте колесо (ротор) на колінчастому валу для генерування сигналів.

2. **Галлові датчики (Hall Effect Sensors):** Ці датчики використовують ефект Холла для вимірювання зміни магнітного поля, створеного обертанням колінчастого валу. Вони забезпечують точніший вихідний сигнал і можуть працювати на більш високих швидкостях обертання.

Функції та застосування

- **Синхронізація системи запалювання:** Датчик передає сигнали до ECU для точного визначення моменту запалювання.
- **Керування системою впорскування палива:** Інформація від датчика використовується для визначення оптимального моменту впорскування палива.
- **Діагностика та безпека:** У разі несправності датчика двигун може перейти в аварійний режим або взагалі не запуститися, що захищає його від потенційних пошкоджень.

Датчики температури двигуна автомобіля вимірюють температуру охолоджуючої рідини або моторного масла, що дозволяє системі управління двигуном (ECU) оптимізувати роботу двигуна і запобігати його перегріву. Ось кілька прикладів таких датчиків:

Приклади датчиків температури двигуна

1. Bosch Engine Coolant Temperature Sensor:

- Bosch є одним з провідних виробників автомобільних датчиків.
- Їх датчики забезпечують високу точність і надійність вимірювань.
- Зазвичай використовуються в багатьох європейських автомобілях.

2. ACDelco 213-77 Engine Coolant Temperature Sensor:

- ACDelco виробляє оригінальні запчастини для автомобілів General Motors.
- Цей датчик використовується в багатьох моделях GM і відрізняється високою надійністю.

3. Standard Motor Products TX73 Coolant Temperature Sensor:

- Standard Motor Products пропонує широкий асортимент датчиків для різних автомобілів.
- Відомі своєю надійністю і точністю вимірювань.

4. Delphi TS10075 Coolant Temperature Sensor:

- Delphi є одним з провідних постачальників автомобільних компонентів.
- Їх датчики забезпечують високу точність і довговічність.

5. Denso 1220-2060 Engine Coolant Temperature Sensor:

- Denso є провідним виробником автомобільних компонентів, особливо для японських автомобілів.
- Їх датчики відомі своєю надійністю і високою точністю.

Принцип роботи датчика температури двигуна

Датчики температури охолоджуючої рідини (ECT - Engine Coolant Temperature) і моторного масла зазвичай працюють на основі термісторів (резисторів, чий опір змінюється з температурою)[19]. Вони можуть бути двох типів:

1. **NTC (Negative Temperature Coefficient):** Опір знижується зі зростанням температури.
2. **PTC (Positive Temperature Coefficient):** Опір зростає зі зростанням температури.

Функції та застосування

- **Контроль системи охолодження:** Датчик передає інформацію про температуру охолоджуючої рідини до ECU, що дозволяє контролювати роботу вентилятора охолодження та водяного насосу.
- **Оптимізація роботи двигуна:** ECU використовує дані про температуру для коригування паливно-повітряної суміші та моменту запалювання, забезпечуючи ефективну роботу двигуна.
- **Запобігання перегріву:** Якщо температура охолоджуючої рідини перевищує безпечний рівень, ECU може активувати аварійні заходи, такі як зниження потужності двигуна або вимкнення двигуна, щоб запобігти пошкодженням.

Датчики швидкості обертання колінчастого валу, також відомі як датчики положення колінчастого валу, відіграють ключову роль у забезпеченні правильної роботи двигуна, оскільки вони забезпечують інформацію про швидкість і положення колінчастого валу для синхронізації системи запалювання та впорскування палива[20].

Приклади датчиків швидкості обертання колінчастого валу

1. Bosch Crankshaft Position Sensor

- **Опис:** Високоякісний датчик від провідного виробника автомобільних компонентів.
- **Особливості:** Надійність, точність, довговічність.
- **Сумісність:** Використовується в багатьох європейських автомобілях.

2. Delphi SS10826 Crankshaft Position Sensor

- **Опис:** Датчик від відомого виробника Delphi.
- **Особливості:** Висока точність вимірювань, стійкість до зношування.
- **Сумісність:** Застосовується в різних марках автомобілів.

3. Denso 196-2001 Crankshaft Position Sensor

- **Опис:** Виробник Denso відомий своєю надійністю і якістю.

- **Особливості:** Точність, стабільність, довговічність.
- **Сумісність:** Широко використовується в японських автомобілях, таких як Toyota, Honda.

4. ACDelco 213-354 Crankshaft Position Sensor

- **Опис:** Оригінальний компонент для автомобілів General Motors.
- **Особливості:** Висока надійність і точність.
- **Сумісність:** Підходить для багатьох моделей GM.

5. NTK Crankshaft Position Sensor (CP0034)

- **Опис:** Високоточний датчик від NTK, підрозділу NGK.
- **Особливості:** Довговічність, висока стійкість до екстремальних умов.
- **Сумісність:** Використовується в різних автомобільних марках.

Принцип роботи датчика швидкості обертання колінчастого валу

Ці датчики зазвичай працюють на основі індуктивних або галлових технологій:

1. Індуктивні датчики (Magnetic/Inductive Sensors):

- **Принцип роботи:** Генерують змінний струм на основі магнітного поля, яке змінюється внаслідок обертання зубчастого колеса (ротора) на колінчастому валу.
- **Переваги:** Прості у виготовленні, не потребують зовнішнього живлення.

2. Галлові датчики (Hall Effect Sensors):

- **Принцип роботи:** Використовують ефект Холла для вимірювання зміни магнітного поля, створеного обертанням колінчастого валу.
- **Переваги:** Забезпечують точніший вихідний сигнал і можуть працювати на високих швидкостях обертання.

Функції та застосування

- **Синхронізація системи запалювання:** Забезпечують точну інформацію про положення колінчастого валу для правильного моменту запалювання.
- **Керування системою впорскування палива:** Дозволяють ECU визначати оптимальний момент впорскування палива.
- **Контроль роботи двигуна:** Виявляють несправності і допомагають підтримувати стабільну роботу двигуна.

2.3. Проблеми та недоліки при проектуванні данної системи автоматизації.

Проектування систем газообміну в двигунах внутрішнього згорання без розподільчих валів з електромагнітними елементами (також відомих як системи електромагнітного керування клапанами або Freevalve) стикається з низкою проблем і недоліків. Нижче наведено детальний опис основних викликів та проблем, з якими доведеться зіткнутися під час проектування та впровадження таких систем.

Проблеми та недоліки

1. Складність управління та калібрування

- **Високі вимоги до електроніки:**
 - **Проблема:** Система потребує високопродуктивного електронного блоку управління (ECU), здатного обробляти велику кількість даних у реальному часі та керувати електромагнітними актуаторами з високою точністю.
 - **Рішення:** Використання потужних процесорів та сучасних алгоритмів управління. Проте це підвищує складність та вартість системи.
- **Складність калібрування:**
 - **Проблема:** Необхідність точного налаштування системи для різних режимів роботи двигуна, що включає оптимізацію фаз відкриття та закриття клапанів.
 - **Рішення:** Використання адаптивних алгоритмів калібрування, але це може вимагати значного часу та ресурсів для тестування і налаштування.

2. Надійність та довговічність

- **Високі вимоги до компонентів:**

- **Проблема:** Електромагнітні актуатори повинні бути дуже надійними, оскільки від їх роботи залежить стабільність роботи двигуна. Вони повинні витримувати значні механічні навантаження та високі температури.
- **Рішення:** Використання високоякісних матеріалів та компонентів, що підвищує загальну вартість виробництва і може вплинути на доступність.
- **Складність у забезпеченні довговічності:**
 - **Проблема:** Компоненти системи повинні мати тривалий термін служби і не втрачати своїх характеристик з часом.
 - **Рішення:** Розробка надійних механізмів захисту та охолодження актуаторів, що може ускладнити конструкцію і збільшити її вагу.

3. Енергоспоживання

- **Високе енергоспоживання:**
 - **Проблема:** Електромагнітні актуатори споживають значну кількість енергії для відкриття та закриття клапанів, що може підвищити загальне енергоспоживання автомобіля.
 - **Рішення:** Оптимізація алгоритмів керування актуаторами для зниження енергоспоживання, але це може обмежити швидкість реакції системи.

4. Система охолодження

- **Необхідність ефективного охолодження:**
 - **Проблема:** Електромагнітні актуатори можуть виділяти значну кількість тепла, що потребує розробки ефективного системи охолодження.

- **Рішення:** Інтеграція додаткових охолоджувальних компонентів, таких як рідинні або повітряні охолоджувачі, що збільшує складність та вартість системи.

5. Інтеграція та модифікація двигуна

- **Складність інтеграції:**
 - **Проблема:** Інтеграція електромагнітної системи керування клапанами в існуючі конструкції двигунів може бути складною через необхідність значних модифікацій.
 - **Рішення:** Розробка нових конструкцій двигунів, спеціально адаптованих під електромагнітні системи, що потребує значних інвестицій у розробку та тестування.

6. Вартість

- **Висока вартість виробництва та обслуговування:**
 - **Проблема:** Виробництво високоточних електромагнітних актуаторів та їх інтеграція в двигун є дорогим процесом.
 - **Рішення:** Масове виробництво для зниження витрат, але це можливе лише за умов значного попиту та широкого впровадження технології.
- **Вартість обслуговування:**
 - **Проблема:** Обслуговування складної електромагнітної системи може вимагати спеціалізованого обладнання та кваліфікованого персоналу.
 - **Рішення:** Розробка стандартів та навчання персоналу, але це потребує додаткових інвестицій.

2.4. Переваги системи.

Системи газообміну в двигунах внутрішнього згорання без розподільчих валів з електромагнітними елементами (системи електромагнітного керування клапанами або Freevalve) пропонують низку значних переваг, що можуть суттєво покращити ефективність, продуктивність та екологічні характеристики двигунів. Ось детальний опис цих переваг:

Переваги системи електромагнітного керування клапанами

1. Збільшення продуктивності та потужності двигуна

- **Оптимізація фаз газорозподілу:**
 - **Перевага:** Можливість незалежного керування кожним клапаном дозволяє налаштувати фази відкриття та закриття клапанів для оптимальної роботи на різних режимах двигуна.
 - **Результат:** Підвищення загальної потужності двигуна за рахунок покращення наповнення циліндрів паливно-повітряною сумішшю.
- **Покращення наповнення та випуску:**
 - **Перевага:** Точне керування клапанами дозволяє оптимально регулювати процеси впуску та випуску газів.
 - **Результат:** Збільшення ефективності згорання, що веде до підвищення потужності та крутного моменту двигуна.

2. Підвищення паливної економічності

- **Зменшення витрат палива:**
 - **Перевага:** Оптимізація фаз газорозподілу дозволяє покращити згорання палива, зменшуючи його витрати.
 - **Результат:** Зниження витрат палива, особливо на часткових навантаженнях та у міському циклі.
- **Адаптація до режимів роботи:**

- **Перевага:** Система може швидко адаптуватися до змін умов експлуатації, забезпечуючи ефективне згоряння палива в будь-яких умовах.
- **Результат:** Загальне підвищення паливної економічності в різних режимах роботи двигуна.

3. Зниження викидів шкідливих речовин

- **Покращення згоряння палива:**

- **Перевага:** Точне керування клапанами дозволяє забезпечити повніше згоряння палива.
- **Результат:** Зменшення викидів оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів (HC) та оксиду азоту (NOx).

- **Оптимізація процесів рециркуляції відпрацьованих газів (EGR):**

- **Перевага:** Можливість точного керування клапанами дозволяє оптимально використовувати системи рециркуляції відпрацьованих газів.
- **Результат:** Зниження викидів NOx та інших шкідливих речовин.

4. Гнучкість та адаптивність

- **Незалежне керування клапанами:**

- **Перевага:** Кожен клапан може відкриватися та закриватися незалежно від інших.
- **Результат:** Забезпечення максимальної гнучкості в налаштуванні роботи двигуна під конкретні умови експлуатації.

- **Підтримка різних режимів роботи:**

- **Перевага:** Можливість реалізації різних режимів роботи двигуна, таких як робота на одному або декількох циліндрах, режим старт-стоп, регенерація каталізатора тощо.
- **Результат:** Підвищення ефективності та економічності двигуна в різних умовах експлуатації.

5. Зменшення механічних втрат та спрощення конструкції

- **Відсутність механічних розподільчих валів:**
 - **Перевага:** Відмова від механічних розподільчих валів зменшує механічні втрати.
 - **Результат:** Збільшення загальної ефективності двигуна.
- **Спрощення конструкції ГРМ:**
 - **Перевага:** Спрощення механічної частини газорозподільного механізму.
 - **Результат:** Зниження ваги та габаритів двигуна, що сприяє покращенню динамічних характеристик автомобіля.

6. Поліпшення динамічних характеристик

- **Швидке реагування системи:**
 - **Перевага:** Електромагнітні актуатори забезпечують швидке і точне відкриття та закриття клапанів.
 - **Результат:** Підвищення динамічних характеристик автомобіля, швидке реагування на зміну навантаження та умов експлуатації.

7. Можливість реалізації нових функцій

- **Регулювання висоти підйому клапанів:**
 - **Перевага:** Можливість регулювання висоти підйому клапанів в залежності від режиму роботи двигуна.
 - **Результат:** Оптимізація процесу згоряння, підвищення ефективності та зниження витрат палива.
- **Режими відключення циліндрів:**
 - **Перевага:** Можливість відключення окремих циліндрів при малих навантаженнях.
 - **Результат:** Зменшення витрат палива та зниження викидів при часткових навантаженнях.

2.5. Розробка функціональної схеми системи газообміну.

Необхідно зорієнтувати блок схему системи газообміну в двигуні внутрішнього згорання. Для детальної розробки системи газообміну в двигуні внутрішнього згорання з електромагнітним керуванням клапанами, розглянемо кожен компонент системи окремо та їх взаємодію[21].

1. Сенсори та датчики

Датчик положення колінчастого валу (Crankshaft Position Sensor)

- Функція: Відстежує положення колінчастого валу.
- Призначення: Визначає точний момент, коли потрібно відкривати або закривати клапани для оптимального газообміну.

Датчик тиску у впускному колекторі (MAP Sensor)

- Функція: Вимірює тиск в впускному колекторі.
- Призначення: Оптимізує процес впуску, регулюючи кількість повітря, що потрапляє до циліндрів.

Датчик температури двигуна (Engine Temperature Sensor)

- Функція: Відстежує температуру двигуна.
- Призначення: Допомогає коригувати роботу двигуна в залежності від його температурного стану для забезпечення оптимальної ефективності та запобігання перегріву.

Датчик швидкості обертання колінчастого валу (RPM Sensor)

- Функція: Вимірює швидкість обертання колінчастого валу.
- Призначення: Забезпечує дані для регулювання відкриття та закриття клапанів залежно від оборотів двигуна.[22][23]

2. Електронний блок керування (ECU)

Обробка даних з сенсорів

- **Функція:** Збирає та обробляє інформацію від усіх сенсорів.
- **Призначення:** Використовує зібрані дані для розрахунку оптимальних параметрів роботи двигуна.

Керування електромагнітними актуаторами

- **Функція:** Відправляє команди на електромагнітні актуатори.
- **Призначення:** Контролює відкриття та закриття клапанів відповідно до розрахованих параметрів.

3. Електромагнітні актуатори

Актуатори впускних клапанів

- **Функція:** Контролюють відкриття та закриття впускних клапанів.
- **Призначення:** Забезпечують точний впуск повітряної суміші до циліндрів.

Актуатори випускних клапанів

- **Функція:** Контролюють відкриття та закриття випускних клапанів.
- **Призначення:** Забезпечують точний випуск відпрацьованих газів з циліндрів[24].

4. Живлення та електроніка

Блок живлення для актуаторів

- **Функція:** Забезпечує електроенергією актуатори.
- **Призначення:** Підтримує стабільну роботу актуаторів.

Електронні драйвери

- **Функція:** Контролюють роботу актуаторів на основі команд від ECU.
- **Призначення:** Забезпечують точну та швидку реакцію актуаторів на команди ECU.

5. Механізм клапанів

Впускні клапани

- **Функція:** Відповідають за впуск паливно-повітряної суміші до циліндрів.
- **Призначення:** Оптимізують процес згоряння палива, забезпечуючи максимальну ефективність.

Випускні клапани

- **Функція:** Відповідають за випуск відпрацьованих газів з циліндрів.
- **Призначення:** Забезпечують своєчасний випуск відпрацьованих газів, запобігаючи їх накопиченню.

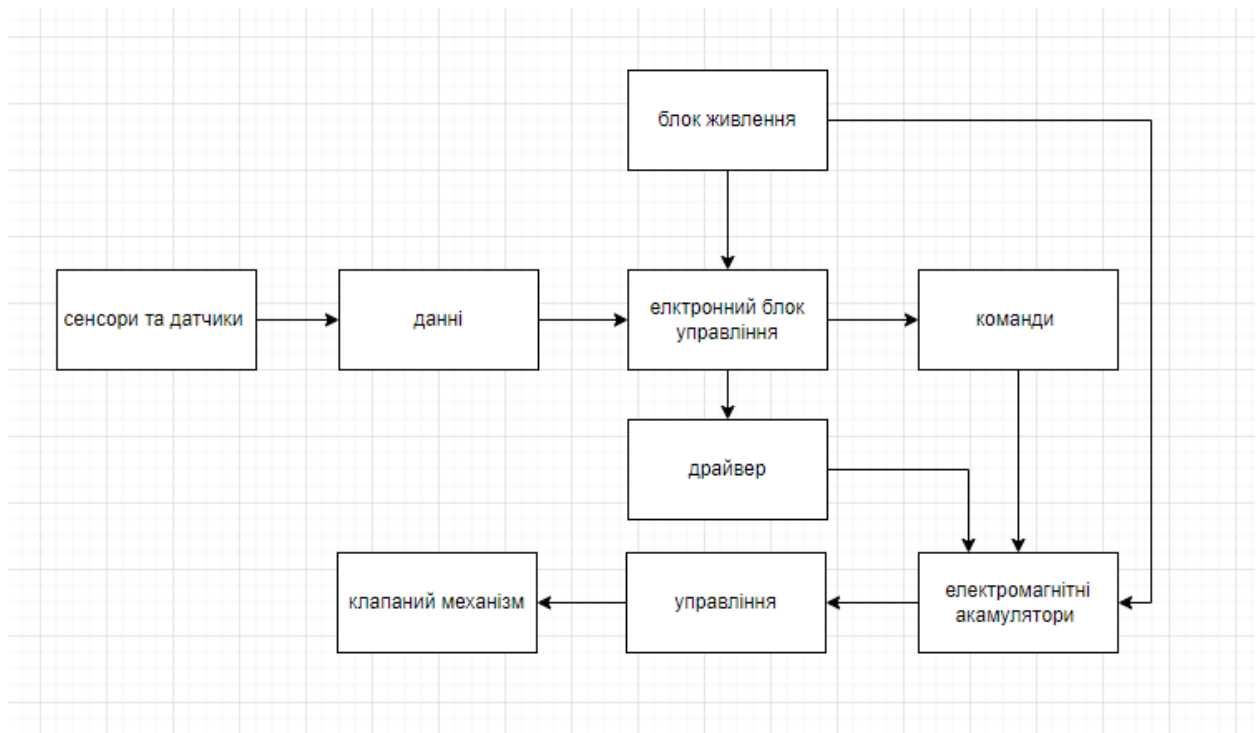


Рисунок 4 – функціональна схему системи газообміну в двигуні внутрішнього згорання.

Опис роботи системи

1. **Сенсори** постійно збирають дані про стан двигуна, такі як положення колінчастого валу, тиск у впускному колекторі, температуру двигуна та швидкість обертання колінчастого валу. Ці дані передаються в електронний блок керування (ECU).
2. **Електронний блок керування (ECU)** обробляє ці дані та визначає оптимальні моменти для відкриття та закриття клапанів. Враховуючи дані сенсорів, ECU може коригувати роботу двигуна в режимі реального часу для забезпечення максимальної ефективності та мінімальних викидів.
3. **Електронні драйвери** передають команди від ECU до електромагнітних актуаторів. Вони забезпечують точний контроль над актуаторами, які відкривають і закривають клапани.
4. **Електромагнітні актуатори** отримують електричні сигнали від драйверів і фізично переміщують клапани. Впускні клапани відкриваються для впуску

паливно-повітряної суміші, а випускні клапани відкриваються для випуску відпрацьованих газів.

5. **Блок живлення** забезпечує стабільне електроживлення для всіх компонентів системи, підтримуючи їхню безперебійну роботу.
6. **Механізм клапанів** реалізує фізичне відкриття та закриття впускних і випускних клапанів. Впускні клапани відповідають за точне дозування паливно-повітряної суміші, а випускні клапани забезпечують своєчасне видалення відпрацьованих газів з циліндрів.

Ця система забезпечує високу точність і швидкість керування клапанами, що дозволяє оптимізувати процеси впуску та випуску, покращує ефективність згоряння палива, знижує витрати палива та рівень викидів шкідливих речовин.

Необхідно додатково пояснити декілька блоків. Здопомогою блок схеми необхідно пояснити блоки “Датчики та сенсори” і “Механізм клапанів”(Рис.5-Рис.6)

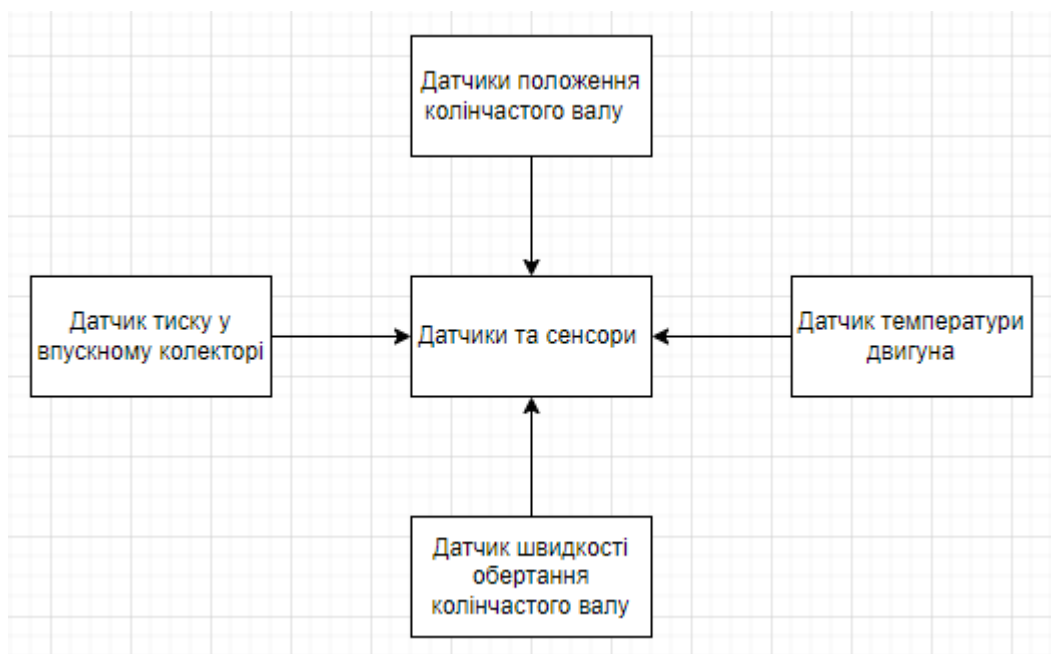


Рисунок 5 – Датчики які використовуються в системі

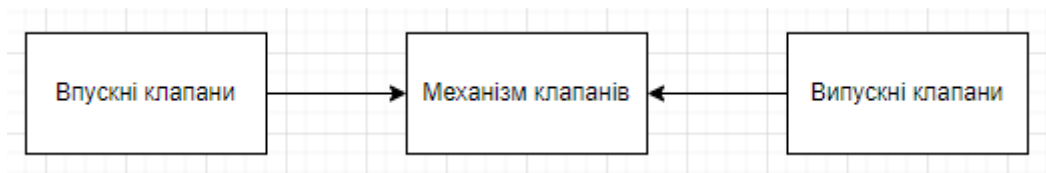


Рисунок 6 – клапани на які впливає механізм

Можна написати програму, яка моделює систему газообміну в двигуні внутрішнього згорання з електромагнітним керуванням клапанами на мові програмування С#, можна за допомогою об'єктно-орієнтованого підходу. Ось приклад коду, який охоплює основні компоненти системи(Рис.7-Рис.11):

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace EngineControlSystem
{
    // Клапан
    public class Valve
    {
        public string Name { get; set; }
        public double Value { get; set; }
        public string ControlName { get; set; }
        public Valve(string name)
        {
            Name = name;
        }
        public void UpdateValue(double newValue)
        {
            Value = newValue;
            Console.WriteLine($"Name: {Name} Value: {Value}");
        }
    }

    // Електромагнітний клапан
    public class ElectromagneticValve
    {
        public string ValveType { get; set; }
    }
}
  
```

Рисунок 7 – Початок коду програми

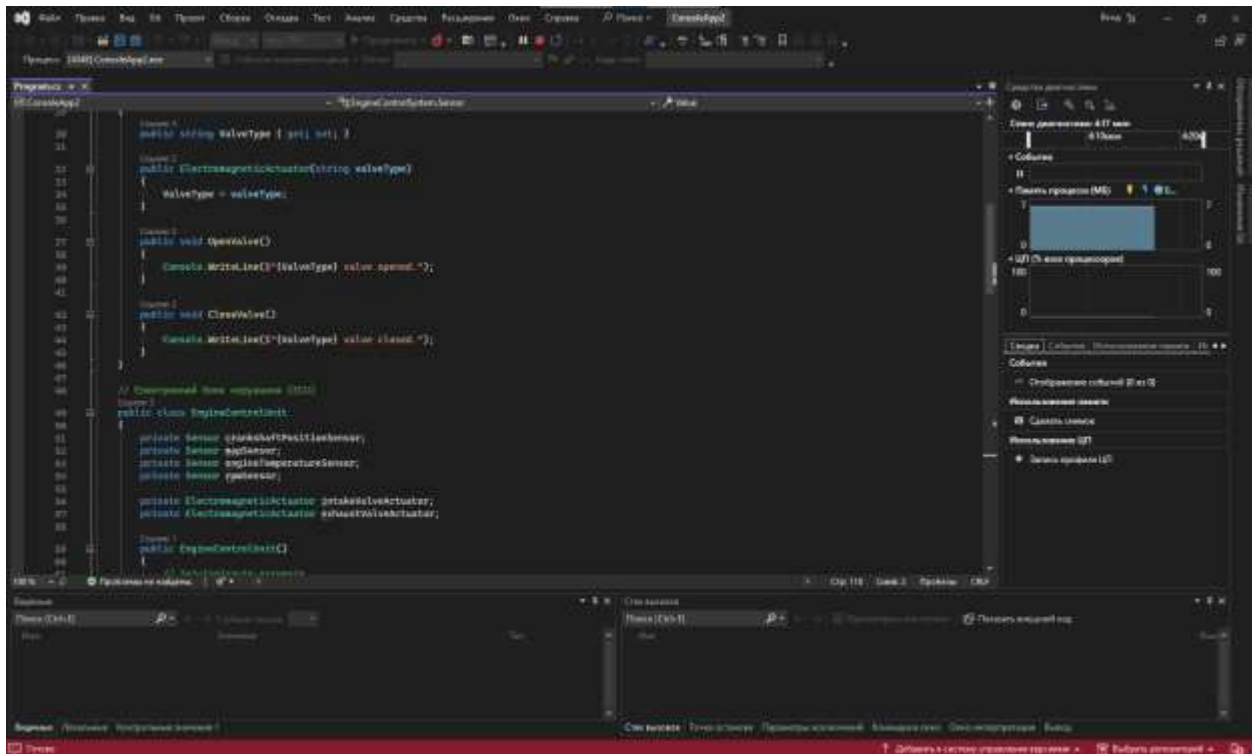


Рисунок 8 – продолжения коду програми

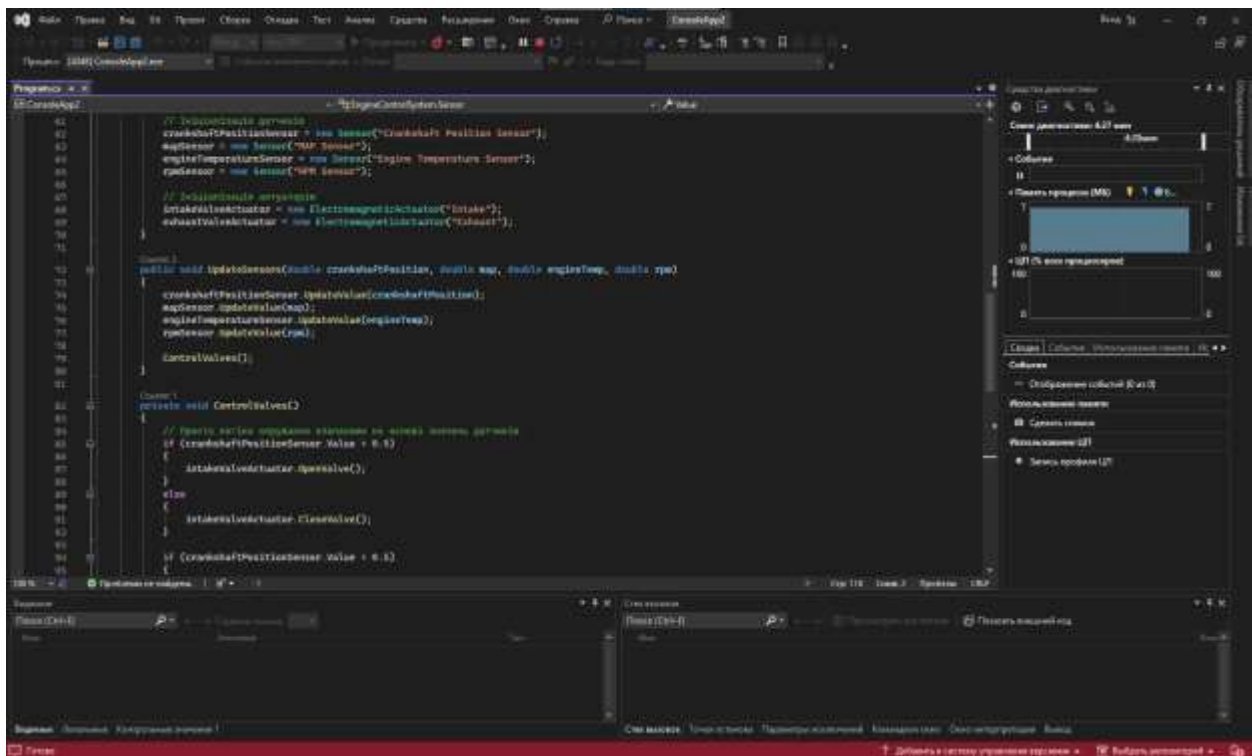


Рисунок 9 – продолжения коду програми

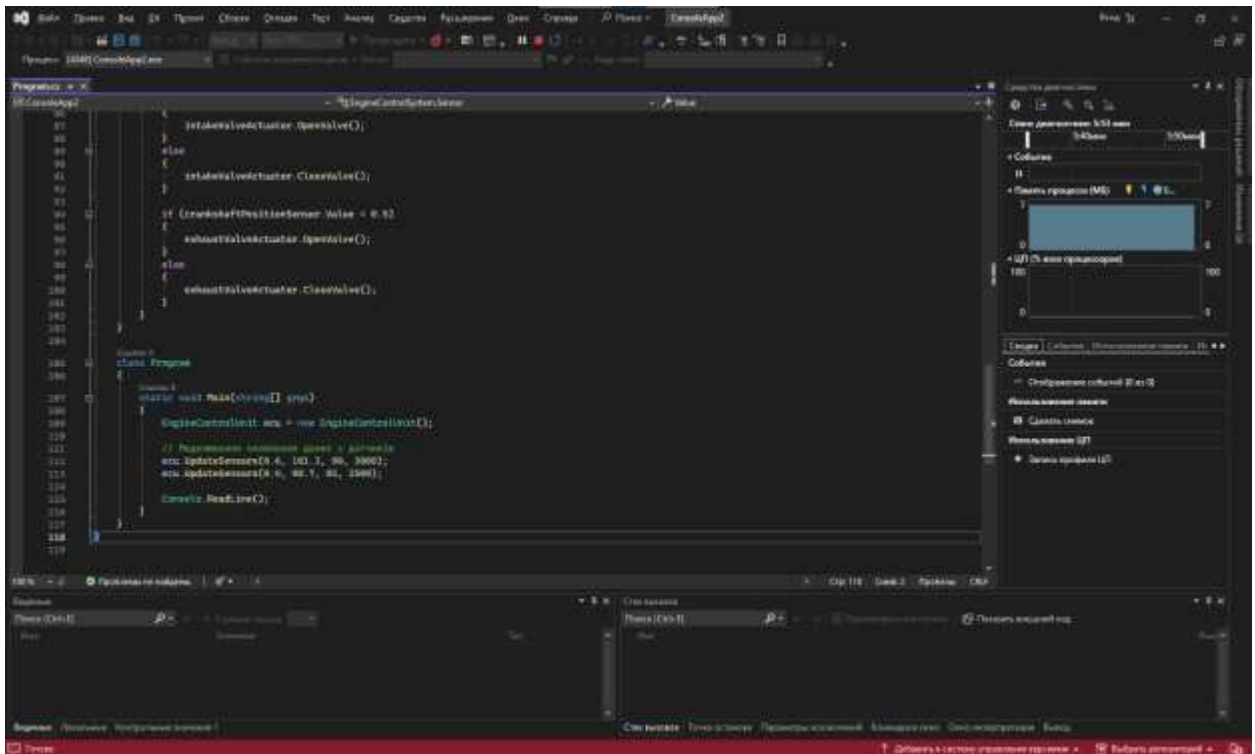


Рисунок 10 – кінець коду програми



Рисунок 11 – результат роботи програми

Пояснення коду:

1. **Sensor:** Клас для представлення датчика. Має властивості Name для назви датчика і Value для його значення. Метод UpdateValue оновлює значення датчика.
2. **ElectromagneticActuator:** Клас для представлення електромагнітного актуатора. Має властивість ValveType для типу клапана (впускний або випускний). Методи OpenValve та CloseValve відповідно відкривають та закривають клапан.
3. **EngineControlUnit:** Клас, що представляє електронний блок керування (ECU). Ініціалізує всі необхідні датчики та актуатори. Метод UpdateSensors оновлює значення датчиків та викликає метод ControlValves для керування клапанами.
4. **ControlValves:** Метод, що реалізує просту логіку керування клапанами на основі значень датчиків.
5. **Program:** Головний клас програми, де створюється екземпляр EngineControlUnit, імітується оновлення даних з датчиків і викликаються методи керування клапанами.

Цей код є спрощеним прикладом, який показує основні концепції і взаємодії між компонентами системи. У реальній системі можуть бути більш складні алгоритми для керування клапанами на основі багатьох параметрів та умов.

2.6 Розробка коду робочої програми

Для забезпечення функціонування даної системи автоматизації необхідно розробити програму, яка буде створена на основі мови програмування С#. Ця програма буде мати чотири режими роботи двигуна автомобіля. Після перемикання між режимами програма буде надавати інформацію з відповідних датчиків. Кожен режим роботи двигуна буде відображати різні параметри та характеристики, що надходять від сенсорів, забезпечуючи тим самим користувача детальною інформацією про стан і функціонування двигуна в кожному з режимів. Це дозволить не тільки спостерігати за змінами в роботі двигуна, але й оперативно реагувати на будь-які відхилення від нормального режиму роботи. Приклад створеної програми(Рис.12-Рис.14).

```
1  using System;
2  using System.Collections.Generic;
3  using System.Linq;
4  using System.Text;
5  using System.Threading.Tasks;
6
7
8  namespace FuelInjectionSystem
9  {
10     class Program
11     {
12         // Константи для подачі пального в різних режимах
13         const int IDLE_MODE_FUEL = 1;
14         const int DIRT_ROAD_MODE_FUEL = 2;
15         const int GOOD_ROAD_MODE_FUEL = 5;
16         const int SPORT_MODE_FUEL = 10;
17
18         static void Main(string[] args)
19         {
20             bool exit = false;
21
22             while (!exit)
23             {
24                 Console.WriteLine("Оберіть режим:");
25                 Console.WriteLine("1. Холостий хід (1 мл)");
26                 Console.WriteLine("2. Грунтова дорога (2 мл)");
27                 Console.WriteLine("3. Дорога з хорошим покриттям (5 мл)");
28                 Console.WriteLine("4. Спорт (10 мл)");
29                 Console.WriteLine("5. Вихід");
30
31                 string input = Console.ReadLine();
32
33                 switch (input)
34                 {
35                     case "1":
36                         SetFuelInjection(IDLE_MODE_FUEL);
37                         DisplaySensorData();
38                 }
39             }
40         }
41     }
42 }
```

Рисунок 12 – Початок коду робочої програми

```
33     switch (input)
34     {
35         case "1":
36             SetFuelInjection(IDLE_MODE_FUEL);
37             DisplaySensorData();
38             break;
39         case "2":
40             SetFuelInjection(DIRT_ROAD_MODE_FUEL);
41             DisplaySensorData();
42             break;
43         case "3":
44             SetFuelInjection(GOOD_ROAD_MODE_FUEL);
45             DisplaySensorData();
46             break;
47         case "4":
48             SetFuelInjection(SPORT_MODE_FUEL);
49             DisplaySensorData();
50             break;
51         case "5":
52             exit = true;
53             break;
54         default:
55             Console.WriteLine("Невірний вибір, спробуйте ще раз.");
56             break;
57     }
58
59     Console.WriteLine("Програму завершено.");
60 }
61
62
63 Ссылка: 4
64 static void SetFuelInjection(int fuelAmount)
65 {
66     Console.WriteLine($"Подача пального встановлена на {fuelAmount} мл.");
67     // Тут може бути додана логіка керування подачею пального
68 }
69
70 Ссылка: 4
71 static void DisplaySensorData()
```

Проблеми не найдены.

Рисунок 13 – продовження коду робочої програми

```
51         case "5":
52             exit = true;
53             break;
54         default:
55             Console.WriteLine("Невірний вибір, спробуйте ще раз.");
56             break;
57     }
58 }
59
60 Console.WriteLine("Програму завершено.");
61 }
62
63 Ссылка: 4
64 static void SetFuelInjection(int fuelAmount)
65 {
66     Console.WriteLine($"Подача пального встановлена на {fuelAmount} мл.");
67     // Тут може бути додана логіка керування подачею пального
68 }
69
70 Ссылка: 4
71 static void DisplaySensorData()
72 {
73     Random rand = new Random();
74
75     int crankshaftPosition = rand.Next(0, 360); // Датчик положення колінчастого валу (градуси)
76     int manifoldPressure = rand.Next(0, 100); // Датчик тиску у впускному колекторі (кПа)
77     int engineTemperature = rand.Next(-40, 120); // Датчик температури двигуна (°C)
78     int crankshaftSpeed = rand.Next(0, 8000); // Датчик швидкості обертання колінчастого валу (об/хв)
79
80     Console.WriteLine("Інформація з датчиків:");
81     Console.WriteLine($"Датчик положення колінчастого валу: {crankshaftPosition} градусів");
82     Console.WriteLine($"Датчик тиску у впускному колекторі: {manifoldPressure} кПа");
83     Console.WriteLine($"Датчик температури двигуна: {engineTemperature} °C");
84     Console.WriteLine($"Датчик швидкості обертання колінчастого валу: {crankshaftSpeed} об/хв");
85     Console.WriteLine();
86 }
```

Рисунок 14 – кінець коду робочої програми

Після створення програми необхідно перевірити її роботу. Після перевірки роботи були виявлені помилки в роботі. Помилки в програмі були виправлені і програма запрацювала коректно. Після проведення корекції помилок в коді програми запускаємо її і перевіряємо результат виконаної роботи(Рис.15).

```
D:\DanTe\Диплом магістра\ConsoleApp3\ConsoleApp3\bin\Debug\ConsoleApp3.exe
5. Вихід
4
Подача пального встановлена на 10 мл.
Інформація з датчиків:
Датчик положення колінчастого валу: 128 градусів
Датчик тиску у впускному колекторі: 4 кПа
Датчик температури двигуна: -4 °C
Датчик швидкості обертання колінчастого валу: 4785 об/хв

Оберть режим:
1. Холостий хід (1 мл)
2. Грунтова дорога (2 мл)
3. Дорога з хорошим покриттям (5 мл)
4. Спорт (10 мл)
5. Вихід
2
Подача пального встановлена на 2 мл.
Інформація з датчиків:
Датчик положення колінчастого валу: 2 градусів
Датчик тиску у впускному колекторі: 61 кПа
Датчик температури двигуна: -8 °C
Датчик швидкості обертання колінчастого валу: 3574 об/хв.

Оберть режим:
1. Холостий хід (1 мл)
2. Грунтова дорога (2 мл)
3. Дорога з хорошим покриттям (5 мл)
4. Спорт (10 мл)
5. Вихід
```

Рисунок 15 – результат роботи робочої програми

Основні компоненти програми

Програма складається з наступних основних компонентів:

1.Константи для різних режимів подачі пального

```
// Константи для подачі пального в різних режимах
const int IDLE_MODE_FUEL = 1;
const int DIRT_ROAD_MODE_FUEL = 2;
const int GOOD_ROAD_MODE_FUEL = 5;
const int SPORT_MODE_FUEL = 10;
```

Рисунок 16 – Константи для різних режимів подачі пального

Ці константи визначають кількість пального, яке подається у кожному режимі(Рис.16).

2.Головний метод Main: Це основний метод, з якого починається виконання програми. Він містить нескінченний цикл, який дозволяє користувачеві вибирати режим подачі пального або вийти з програми.

3.Метод SetFuelInjection:

```
static void SetFuelInjection(int fuelAmount)
{
    Console.WriteLine($"Подача пального встановлена на {fuelAmount} мл.");
    // Тут може бути додана логіка керування подачею пального
}
```

Рисунок 17 – Метод SetFuelInjection

Цей метод відповідає за встановлення кількості пального для обраного режиму і виведення відповідного повідомлення на екран.

4.Метод **DisplaySensorData**:

```
static void DisplaySensorData()
{
    Random rand = new Random();

    int crankshaftPosition = rand.Next(0, 360); // Датчик положення колінчастого валу (градуси)
    int manifoldPressure = rand.Next(0, 100); // Датчик тиску у впускному колекторі (кПа)
    int engineTemperature = rand.Next(-40, 120); // Датчик температури двигуна (°C)
    int crankshaftSpeed = rand.Next(0, 8000); // Датчик швидкості обертання колінчастого валу (об/хв)

    Console.WriteLine("Інформація з датчиків:");
    Console.WriteLine($"Датчик положення колінчастого валу: {crankshaftPosition} градусів");
    Console.WriteLine($"Датчик тиску у впускному колекторі: {manifoldPressure} кПа");
    Console.WriteLine($"Датчик температури двигуна: {engineTemperature} °C");
    Console.WriteLine($"Датчик швидкості обертання колінчастого валу: {crankshaftSpeed} об/хв");
    Console.WriteLine();
}
```

Рисунок 18 – Метод DisplaySensorData

Цей метод симулює зчитування даних з чотирьох датчиків і виводить їх на екран. Для генерації випадкових значень використовується клас Random(Рис.18).

Детальний принцип роботи програми

1. **Запуск програми:** Коли програма запускається, виконання починається з методу Main.
2. **Відображення меню:** Всередині нескінченного циклу while (!exit), програма відображає меню з п'ятьма опціями:
 1. Холостий хід (1 мл)
 2. Грунтова дорога (2 мл)
 3. Дорога з хорошим покриттям (5 мл)
 4. Спорт (10 мл)
 5. Вихід

3. **Обробка вибору користувача:** Програма очікує введення користувачем опції. Вибір зчитується за допомогою `Console.ReadLine()` і зберігається в змінну `input`.
4. **Перемикання режимів:** В залежності від значення `input`, програма виконує відповідну гілку оператора `switch`:
 - Для вибору 1, 2, 3 або 4 викликається метод `SetFuelInjection` з відповідним значенням пального, після чого викликається метод `DisplaySensorData` для відображення даних з датчиків.
 - Якщо введено 5, змінна `exit` встановлюється в `true`, що призводить до виходу з циклу і завершення програми.
 - Якщо введено некоректне значення, виводиться повідомлення про помилку.
5. **Встановлення подачі пального:** Метод `SetFuelInjection` приймає значення кількості пального (наприклад, 1, 2, 5 або 10 мл) і виводить відповідне повідомлення.
6. **Відображення даних з датчиків:** Метод `DisplaySensorData` генерує випадкові значення для кожного з чотирьох датчиків:
 - Положення колінчастого валу (градуси від 0 до 360)
 - Тиск у впускному колекторі (кПа від 0 до 100)
 - Температура двигуна (°C від -40 до 120)
 - Швидкість обертання колінчастого валу (об/хв від 0 до 8000) Після генерації значення виводяться на екран.

Приклад роботи програми

1. Програма запускається і виводить меню.
2. Користувач вводить "1" (Холостий хід).
3. Програма викликає `SetFuelInjection` з параметром 1, що встановлює подачу пального на 1 мл і виводить повідомлення.
4. Програма викликає `DisplaySensorData`, яке генерує випадкові дані для датчиків і виводить їх на екран.

5. Програма знову відображає меню, дозволяючи користувачеві зробити новий вибір або вийти.

Програма повторює ці кроки, поки користувач не введе "5" для виходу.

ВИСНОВКИ ДО 2 РОЗДІЛУ

У ході розробки програми автоматизації процесів газообміну в двигунах внутрішнього згорання без застосування розподільчих валів було створено програму на мові C#, яка включає чотири режими роботи двигуна: холостий хід, ґрунтова дорога, дорога з хорошим покриттям та спорт.

Програма дозволяє користувачеві перемикатися між цими режимами та отримувати відповідні дані від сенсорів, що відображають параметри та характеристики роботи двигуна. Після виправлення помилок програма працює коректно, забезпечуючи детальну інформацію про стан двигуна та дозволяючи оперативно реагувати на відхилення від нормального режиму роботи. Це сприяє покращенню ефективності та надійності двигуна.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ

Для створення математичної моделі теплового балансу двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) V-подібної конфігурації, слід врахувати кілька ключових параметрів і процесів, що впливають на тепловий баланс. Основні елементи, які треба врахувати, включають:

- 1.Теплота, яка виділяється при згоранні палива ($Q_{зп}$)
- 2.Теплота, що передається охолоджуючій рідині ($Q_{ор}$)
- 3.Теплота, що втрачається з вихлопними газами ($Q_{вг}$)
- 4.Теплота, що втрачається через поверхню двигуна ($Q_{пд}$)
- 5.Теплова енергія, що перетворюється в корисну механічну роботу ($Q_{кпр}$)

Основні рівняння теплового балансу

1.Загальне рівняння теплового балансу:

$$Q_{зп} = Q_{ор} + Q_{вг} + Q_{пд} + Q_{кпр}$$

2.Теплота згорання палива:

$$Q_{зп} = m_f \cdot LHV$$

де m_f — масова витрата палива, LHV — нижча теплота згорання палива.

3.Теплота, що передається охолоджуючій рідині:

$$Q_{ор} = \dot{m}_{ор} \cdot c_{ор} \cdot (T_{орвих} - T_{орвхід})$$

де $\dot{m}_{ор}$ — витрата охолоджуючої рідини, $c_{ор}$ — теплоємність охолоджуючої рідини, $T_{орвих}$ і $T_{орвхід}$ — температура охолоджуючої рідини на виході та вході відповідно.

4.Теплота, що втрачається з вихлопними газами:

$$Q_{вг} = \dot{m}_{вг} \cdot c_{вг} \cdot (T_{вг} - T_{нс})$$

де $\dot{m}_{\text{вг}}$ — масова витрата вихлопних газів, $c_{\text{вг}}$ — теплоємність вихлопних газів, $T_{\text{вг}}$ — температура вихлопних газів, $T_{\text{нс}}$ — температура навколишнього середовища.

5. Теплота, що втрачається через поверхню двигуна:

$$Q_{\text{пд}} = h_{\text{кт}} \cdot A_{\text{пд}} \cdot (T_{\text{пд}} - T_{\text{нс}})$$

де $h_{\text{кт}}$ — коефіцієнт тепловіддачі, $A_{\text{пд}}$ — площа поверхні двигуна, $T_{\text{пд}}$ — температура поверхні двигуна.

6. Теплова енергія, що перетворюється в корисну механічну роботу:

$$Q_{\text{кпр}} = P_{\text{пд}} \cdot \eta_{\text{м.ккд.д.}}$$

де $P_{\text{пд}}$ — потужність двигуна, $\eta_{\text{м.ккд.д.}}$ — механічний ККД двигуна.

Параметри для моделі

Для нормальної роботи V-подібного двигуна обираємо такі типові значення параметрів:

- Масова витрата палива (m_f): 0.02 кг/с
- Нижча теплота згорання палива (LHV): 42,500 кДж/кг
- Витрата охолоджуючої рідини ($\dot{m}_{\text{ор}}$): 0.1 кг/с
- Теплоємність охолоджуючої рідини ($c_{\text{ор}}$): 4.18 кДж/(кг·°C)
- Температура охолоджуючої рідини на виході ($T_{\text{орвих}}$): 90°C
- Температура охолоджуючої рідини на вході ($T_{\text{орвхід}}$): 70°C
- Масова витрата вихлопних газів ($\dot{m}_{\text{вг}}$): 0.018 кг/с
- Теплоємність вихлопних газів ($c_{\text{вг}}$): 1.05 кДж/(кг·°C)
- Температура вихлопних газів ($T_{\text{вг}}$): 450°C
- Температура навколишнього середовища ($T_{\text{нс}}$): 25°C
- Коефіцієнт тепловіддачі ($h_{\text{кт}}$): 10 Вт/(м²·°C)

- Площа поверхні двигуна ($A_{\text{пд}}$): 1.5 м^2
- Температура поверхні двигуна ($T_{\text{пд}}$): 80°C
- Потужність двигуна ($P_{\text{пд}}$): 100 кВт
- Механічний ККД двигуна ($\eta_{\text{м.ккд.д.}}$): 0.35

Підставляючи ці параметри у відповідні рівняння, можна оцінити тепловий баланс двигуна для нормальної роботи. Виконання точних розрахунків потребує програмного забезпечення або детальних обчислень.

Продовжимо розрахунок теплового балансу V-подібного двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) для нормальної роботи.

Розрахунки

1. Теплота згорання палива:

$$Q_{\text{зп}} = m_f \cdot LHV$$

Де:

$$m_f = 0.02 \text{ кг/с};$$

$$LHV = 42,500 \text{ кДж/кг};$$

$$Q_{\text{зп}} = 0.02 \cdot 42500 = 850 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) = 850 \text{ кВт}$$

2. Теплота, що передається охолоджуючій рідині:

$$Q_{\text{ор}} = \dot{m}_{\text{ор}} \cdot c_{\text{ор}} \cdot (T_{\text{орвих}} - T_{\text{орвхід}})$$

Де:

$$\dot{m}_{\text{ор}} = 0.1 \text{ кг/с}$$

$$c_{\text{ор}} = 4.18 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$T_{\text{орвих}} = 90^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{орвхід}} = 70^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{ор}} = 0,1 \cdot 4,18 \cdot (90 - 70) = 0,1 \cdot 4,18 \cdot 20 = 8,36 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) = 8,36 \text{кВт}$$

3. Теплота, що втрачається з вихлопними газами:

$$Q_{\text{вг}} = \dot{m}_{\text{вг}} \cdot c_{\text{вг}} \cdot (T_{\text{вг}} - T_{\text{нс}})$$

Де:

$$\dot{m}_{\text{вг}} = 0.018 \text{ кг/с}$$

$$c_{\text{вг}} = 1.05 \text{ кДж/(кг} \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

$$T_{\text{вг}} = 450^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{нс}} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{вг}} = 0,018 \cdot 1,05 \cdot (450 - 25) = 0,018 \cdot 1,05 \cdot 425 = 8,0325 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) \approx 8,03 \text{кВт}$$

4. Теплота, що втрачається через поверхню двигуна:

$$Q_{\text{пд}} = h_{\text{кт}} \cdot A_{\text{ппд}} \cdot (T_{\text{тпд}} - T_{\text{нс}})$$

Де:

$$h_{\text{кт}} = 10 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

$$A_{\text{ппд}} = 1.5 \text{ м}^2$$

$$T_{\text{пд}} = 80^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{пд}} = 10 \cdot 1,5 \cdot (80 - 25) = 10 \cdot 1,5 \cdot 55 = 825 \text{Вт} = 0,825 \text{кВт}$$

5. Теплова енергія, що перетворюється в корисну механічну роботу:

$$Q_{\text{квр}} = P_{\text{пд}} \cdot \eta_{\text{м. ккд. д.}}$$

Де:

$$P_{\text{пд}} = 100 \text{ кВт}$$

$$\eta_{\text{м.ккд.д.}} = 0.35$$

$$Q_{\text{кмп}} = 100 \cdot 0,35 = 35\text{кВт}$$

Підсумок теплового балансу

Сумуємо всі складові теплового балансу:

$$Q_{\text{зп}} = Q_{\text{ор}} + Q_{\text{вг}} + Q_{\text{пд}} + Q_{\text{кмп}}$$

$$850 = 8,36 + 8,03 + 0,825 + 35$$

$$850 = 52,215 \text{ кВт}$$

Маємо різницю між теплотою згоряння палива та сумою теплових втрат і корисної роботи. Для повного балансу необхідно врахувати інші втрати, такі як:

Втрати на тертя в двигуні:

$$Q_{\text{тер}} = Q_{\text{зп}} - (Q_{\text{ор}} + Q_{\text{вг}} + Q_{\text{пд}} + Q_{\text{кмп}})$$

$$Q_{\text{тер}} = 850 - 52,215 = 797,785\text{кВт}$$

Це означає, що основна частина теплової енергії втрачається в результаті тертя та інших не врахованих процесів.

Математична модель теплового балансу V-подібного ДВЗ дозволяє оцінити різні компоненти теплових втрат і перетворення енергії в корисну роботу. Для точнішого балансу можна врахувати додаткові фактори, такі як:

- Детальніші втрати на тертя в різних частинах двигуна
- Втрати на привод допоміжного обладнання (генератор, насос охолоджуючої рідини тощо)
- Втрати на випромінювання тепла
- Зміни параметрів під час роботи двигуна на різних режимах.

Ця модель є базовою і може бути доповнена для конкретних застосувань та умов роботи двигуна.

3.1. Розрахунок для різних режимів роботи.

Для врахування різних режимів роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) в тепловому балансі, необхідно розглянути такі основні режими:

1. Холостий хід
2. Низьке навантаження
3. Середнє навантаження
4. Високе навантаження

Кожен режим характеризується різними значеннями параметрів, таких як витрата палива, температура вихлопних газів, теплота згорання та механічний ККД. Розглянемо кожен режим детально.

1. Холостий хід

Холостий хід характеризується мінімальною витратою палива та низьким навантаженням на двигун. При цьому механічний ККД є низьким, а втрати на тертя й охолодження значні.

Параметри:

- Масова витрата палива (m_f): 0.002 кг/с
- Потужність двигуна (P_d): 5 кВт
- Механічний ККД ($\eta_{м.ккл.д.}$): 0.1
- Температура вихлопних газів ($T_{вг}$): 150°C

Розрахунки:

$$Q_{зп} = 0,002 \cdot 42500 = 85 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) = 85 \text{кВт}$$

$$Q_{кмп} = 5 \cdot 0,1 = 0,5 \text{кВт}$$

$$Q_{вг} = 0,018 \cdot 1,05 \cdot (150 - 25) = 0,018 \cdot 1,05 \cdot 125 = 2,3625 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) = 2,36 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{пд}} = 10 \cdot 1,5 \cdot (80 - 25) = 825 \text{Вт} = 0,825 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{ор}} = 0,1 \cdot 4,18 \cdot (90 - 70) = 8,36 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{тер}} = 85 - (0,5 + 2,36 + 0,825 + 8,36) = 72,955 \text{кВт}$$

2. Низьке навантаження

При низькому навантаженні двигун працює на частковій потужності, з невеликою витратою палива та помірним механічним ККД.

Параметри:

- Масова витрата палива (m_f): 0.01 кг/с
- Потужність двигуна ($P_{\text{пд}}$): 30 кВт
- Механічний ККД ($\eta_{\text{м.ккд.д.}}$): 0.2
- Температура вихлопних газів ($T_{\text{вг}}$): 250°C

Розрахунки:

$$Q_{\text{зп}} = 0,01 \cdot 42500 = 425 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) = 425 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{кмп}} = 30 \cdot 0,2 = 6 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{вг}} = 0,018 \cdot 1,05 \cdot (250 - 25) = 0,018 \cdot 1,05 \cdot 225 = 4,2525 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) = 4,25 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{пд}} = 10 \cdot 1,5 \cdot (80 - 25) = 825 \text{Вт} = 0,825 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{ор}} = 0,1 \cdot 4,18 \cdot (90 - 70) = 8,36 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{тер}} = 425 - (6 + 4,25 + 0,825 + 8,36) = 405,565 \text{кВт}$$

3. Середнє навантаження

При середньому навантаженні двигун працює на середній потужності з покращеним механічним ККД.

Параметри:

- Масова витрата палива (m_f): 0.015 кг/с
- Потужність двигуна ($P_{\text{пд}}$): 60 кВт
- Механічний ККД ($\eta_{\text{м.ккд.д.}}$): 0.3
- Температура вихлопних газів ($T_{\text{вг}}$): 350°C

Розрахунки:

$$Q_{\text{зп}} = 0,015 \cdot 42500 = 637,5 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) = 637,5 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{кпр}} = 60 \cdot 0,3 = 18 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{вг}} = 0,018 \cdot 1,05 \cdot (350 - 25) = 0,018 \cdot 1,05 \cdot 325 = 6,1425 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) = 6,14 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{пд}} = 10 \cdot 1,5 \cdot (80 - 25) = 825 \text{Вт} = 0,825 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{ор}} = 0,1 \cdot 4,18 \cdot (90 - 70) = 8,36 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{тер}} = 637,5 - (18 + 6,14 + 0,825 + 8,36) = 604,175 \text{кВт}$$

4. Високе навантаження

При високому навантаженні двигун працює на максимальній потужності, досягаючи найвищого механічного ККД.

Параметри:

- Масова витрата палива (m_f): 0.025 кг/с
- Потужність двигуна ($P_{\text{пд}}$): 100 кВт
- Механічний ККД ($\eta_{\text{м.ккд.д.}}$): 0.35
- Температура вихлопних газів ($T_{\text{вг}}$): 450°C

Розрахунки:

$$Q_{\text{зп}} = 0,025 \cdot 42500 = 1062,5 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) = 1062,5 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{кмп}} = 100 \cdot 0,35 = 35 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{вг}} = 0,018 \cdot 1,05 \cdot (450 - 25) = 0,018 \cdot 1,05 \cdot 425 = 8,0325 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \right) = 8,03 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{ор}} = 0,1 \cdot 4,18 \cdot (90 - 70) = 8,36 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{пд}} = 10 \cdot 1,5 \cdot (80 - 25) = 825 \text{Вт} = 0,825 \text{кВт}$$

$$Q_{\text{тер}} = 1062,5 - (35 + 8,03 + 8,36 + 0,825) = 1010,285 \text{кВт}$$

Таблиця 3.1. Узагальнений тепловий баланс:

Режим роботи	$Q_{зп}$ (кВт)	$Q_{кмп}$ (кВт)	$Q_{вг}$ (кВт)	$Q_{пд}$ (кВт)	$Q_{ор}$ (кВт)	$Q_{тер}$ (кВт)
Холостий хід	85	0.5	2.36	0.825	8.36	72.955
Низьке навантаження	425	6	4.25	0.825	8.36	405.565
Середнє навантаження	637.5	18	6.14	0.825	8.36	604.175
Високе навантаження	1062.5	35	8.03	0.825	8.36	1010.285

Математична модель теплового балансу для V-подібного ДВЗ дозволяє оцінити розподіл теплової енергії при різних режимах роботи двигуна. На основі цих даних можна оптимізувати роботу двигуна для досягнення максимальної ефективності, мінімізації втрат та покращення загальної продуктивності.

3.2. Розрахунок для двигуна без розподільчого валу.

Введення системи газообміну без розподільчих валів з електромагнітними елементами (так звана система безклапанного газообміну або FreeValve) може вплинути на ефективність двигуна за рахунок кращого контролю над газорозподілом. Це, в свою чергу, може змінити тепловий баланс двигуна. Припустимо, що така система збільшує механічний ККД двигуна і знижує втрати на тертя.

Припустимо, що з електромагнітними елементами механічний ККД зростає на 10%, а втрати на тертя зменшуються на 20%. Виконаємо аналогічні розрахунки для всіх режимів роботи двигуна.

Нові параметри для двигуна з системою газообміну без розподільчих валів:

1. Механічний ККД збільшено на 10% для кожного режиму.
2. Втрати на тертя зменшено на 20%.

1. Холостий хід

Параметри:

- Механічний ККД ($\eta_{\text{м.ккд.д.}}$): $0.1 + 0.1 \times 0.1 = 0.11$
- Потужність двигуна ($P_{\text{лд}}$): 5 кВт

Розрахунки:

$$Q_{\text{кмп}} = 5 \cdot 0,11 = 0,55 \text{ кВт}$$

Інші теплові параметри залишаються без змін:

$$Q_{\text{тер}} = (85 - (0,55 + 2,36 + 0,825 + 8,36)) \cdot 0,8 = 58,364 \text{ кВт}$$

2. Низьке навантаження

Параметри:

- Механічний ККД ($\eta_{\text{м.ккд.д.}}$): $0.2 + 0.2 \times 0.1 = 0.22$
- Потужність двигуна ($P_{\text{пд}}$): 30 кВт

Розрахунки:

$$Q_{\text{кмп}} = 30 \cdot 0,22 = 6,6 \text{кВт}$$

Інші теплові параметри залишаються без змін:

$$Q_{\text{тер}} = (425 - (6,6 + 4,25 + 0,825 + 8,36))0,8 = 322,428 \text{кВт}$$

3. Середнє навантаження

Параметри:

- Механічний ККД ($\eta_{\text{м.ккд.д.}}$): $0.3 + 0.3 \times 0.1 = 0.33$
- Потужність двигуна ($P_{\text{пд}}$): 60 кВт

Розрахунки:

$$Q_{\text{кмп}} = 60 \cdot 0,33 = 19,8 \text{кВт}$$

Інші теплові параметри залишаються без змін:

$$Q_{\text{тер}} = (637,5 - (19,8 + 6,14 + 0,825 + 8,36))0,8 = 490,732 \text{кВт}$$

4. Високе навантаження

Параметри:

- Механічний ККД ($\eta_{\text{м.ккд.д.}}$): $0.35 + 0.35 \times 0.1 = 0.385$
- Потужність двигуна ($P_{\text{пд}}$): 100 кВт

Розрахунки:

$$Q_{\text{кмп}} = 100 \cdot 0,385 = 38,5 \text{кВт}$$

Інші теплові параметри залишаються без змін:

$$Q_{\text{тер}} = (1062,5 - (38,5 + 8,03 + 0,825 + 8,36)) \cdot 0,8 = 811,308 \text{кВт}$$

Узагальнений тепловий баланс для двигуна з системою газообміну без розподільчих валів.

Таблиця 3.2. Узагальнений тепловий баланс для двигуна з системою газообміну без розподільчих валів.

Режим роботи	$Q_{\text{зп}}$ (кВт)	$Q_{\text{кмп}}$ (кВт)	$Q_{\text{вт}}$ (кВт)	$Q_{\text{пд}}$ (кВт)	$Q_{\text{ор}}$ (кВт)	$Q_{\text{тер}}$ (кВт)
Холостий хід	85	0.55	2.36	0.825	8.36	58.364
Низьке навантаження	425	6.6	4.25	0.825	8.36	322.428
Середнє навантаження	637.5	19.8	6.14	0.825	8.36	490.732
Високе навантаження	1062.5	38.5	8.03	0.825	8.36	811.308

Система газообміну без розподільчих валів з електромагнітними елементами покращує механічний ККД двигуна, знижує втрати на тертя, що призводить до більш ефективного використання енергії палива. В результаті, зменшуються теплові втрати і збільшується корисна робота на всіх режимах роботи двигуна.

3.3. Порівняння розразунків.

Щоб порівняти двигун із системою газообміну без розподільчих валів з електромагнітними елементами та традиційний двигун із розподільчими валами, розглянемо отримані дані для обох типів двигунів у всіх режимах роботи. Ми аналізуватимемо основні показники, такі як тепловий баланс, механічний ККД, і втрати на тертя.

Порівняння теплового балансу

Таблиця 3.3. Холостий хід

Параметр	Традиційний двигун (кВт)	Двигун з електромагнітними елементами (кВт)
$Q_{зп}$	85	85
$Q_{кпр}$	0.5	0.55
$Q_{вг}$	2.36	2.36
$Q_{пд}$	0.825	0.825
$Q_{ор}$	8.36	8.36
$Q_{тер}$	72.955	58.364

Таблиця 3.4. Низьке навантаження

Параметр	Традиційний двигун (кВт)	Двигун з електромагнітними елементами (кВт)
$Q_{зп}$	425	425
$Q_{кпр}$	6	

		6.6
$Q_{вг}$	4.25	4.25
$Q_{пд}$	0.825	0.825
$Q_{ор}$	8.36	8.36
$Q_{тер}$	405.565	322.428

Таблиця 3.5. Середнє навантаження

Параметр	Традиційний двигун (кВт)	Двигун з електромагнітними елементами (кВт)
$Q_{зп}$	637.5	637.5
$Q_{кмп}$	18	19.8
$Q_{вг}$	6.14	6.14
$Q_{пд}$	0.825	0.825
$Q_{ор}$	8.36	8.36
$Q_{тер}$	604.175	490.732

Таблиця 3.6. Високе навантаження

Параметр	Традиційний двигун (кВт)	Двигун з електромагнітними елементами (кВт)
$Q_{зп}$	1062.5	1062.5
$Q_{кмп}$	35	38.5
$Q_{вг}$	8.03	8.03
$Q_{пд}$	0.825	0.825

Q_{op}	8.36	8.36
$Q_{тер}$	1010.285	811.308

Аналіз порівняння

Холостий хід

- Традиційний двигун: $Q_{кмп} = 0.5$ кВт, $Q_{тер} = 72.955$ кВт
- Двигун з електромагнітними елементами: $Q_{кмп} = 0.55$ кВт, $Q_{тер} = 58.364$ кВт

Низьке навантаження

- Традиційний двигун: $Q_{кмп} = 6$ кВт, $Q_{тер} = 405.565$ кВт
- Двигун з електромагнітними елементами: $Q_{кмп} = 6.6$ кВт, $Q_{тер} = 322.428$ кВт

Середнє навантаження

- Традиційний двигун: $Q_{кмп} = 18$ кВт, $Q_{тер} = 604.175$ кВт
- Двигун з електромагнітними елементами: $Q_{кмп} = 19.8$ кВт, $Q_{тер} = 490.732$ кВт

Високе навантаження

- Традиційний двигун: $Q_{кмп} = 35$ кВт, $Q_{тер} = 1010.285$ кВт
- Двигун з електромагнітними елементами: $Q_{кмп} = 38.5$ кВт, $Q_{тер} = 811.308$ кВт

Згідно з дослідженням, двигун з системою газообміну без розподільчих валів з електромагнітними елементами демонструє кращі показники ефективності та менші втрати енергії порівняно з традиційним двигуном із розподільчими валами.

ВИСНОВКИ ДО 4 РОЗДІЛУ

Ефективність роботи: Двигун з електромагнітними елементами має вищий механічний ККД на всіх режимах роботи. Це дозволяє отримувати більшу корисну роботу (Q_{work}) при тих же витратах палива.

Втрати на тертя: Завдяки системі без розподільчих валів з електромагнітними елементами втрати на тертя значно знижуються, що покращує загальну ефективність двигуна.

Теплові втрати: Втрати тепла через вихлопні гази, охолодження і поверхню двигуна залишаються практично незмінними, що означає, що основні поліпшення пов'язані з механічною ефективністю та зниженням тертя.

Корисна потужність: Встановлення системи газообміну без розподільчих валів з електромагнітними елементами дозволяє отримати більше корисної потужності при однаковій витраті палива, що особливо помітно при високих навантаженнях.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

4.1. Мікрокліматичні умови в приміщенні з верстатами.

Мікрокліматичні умови є важливим аспектом охорони праці, оскільки вони суттєво впливають на здоров'я та працездатність працівників. У приміщеннях, де працюють з верстатами, цей фактор набуває особливого значення через специфіку виробничих процесів, які можуть створювати додаткові теплові навантаження, підвищувати рівень шуму та забруднення повітря.

Основні параметри мікроклімату

Основними параметрами мікроклімату є температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та інтенсивність теплового випромінювання. Оптимальні значення цих параметрів залежать від типу виконуваних робіт, фізичних навантажень та технологічних процесів, що використовуються на підприємстві.

Температура повітря

Температура повітря є одним із ключових показників мікроклімату. Для приміщень з верстатами рекомендована температура становить 18-22°C. Підвищення температури може призводити до перегрівання організму, зниження працездатності та збільшення ризику теплових ударів. Зниження температури, навпаки, може спричинити переохолодження, що також негативно впливає на здоров'я працівників.

Відносна вологість

Відносна вологість повітря в робочих приміщеннях має бути в межах 40-60%. Надмірно висока вологість сприяє розвитку грибків, бактерій та корозії обладнання. Занадто низька вологість може викликати пересушування слизових оболонок та шкіри, що призводить до дискомфорту та збільшення ризику респіраторних захворювань.

Швидкість руху повітря

Швидкість руху повітря є важливим фактором для забезпечення комфортних умов праці. Вона не повинна перевищувати 0,2-0,3 м/с. Збільшення цього показника може викликати відчуття протягів, охолодження організму та зниження працездатності.

Інтенсивність теплового випромінювання

Теплове випромінювання від верстатів та іншого обладнання може суттєво впливати на мікроклімат приміщення. Високе теплове випромінювання може призводити до перегрівання та значного дискомфорту для працівників. Для зниження впливу теплового випромінювання використовуються екрани, ізоляційні матеріали та інші засоби захисту.

Заходи щодо забезпечення оптимальних мікрокліматичних умов

- 1. Вентиляція:** Ефективна система вентиляції забезпечує видалення відпрацьованого повітря та приплив свіжого. Рекомендується використання комбінованої системи вентиляції, яка поєднує природну та механічну вентиляцію. Це дозволяє підтримувати оптимальний мікроклімат в будь-який час року.
- 2. Кондиціонування:** Використання кондиціонерів дозволяє підтримувати оптимальні температурні та вологісні режими в приміщенні. Сучасні системи кондиціонування також можуть фільтрувати повітря, знижуючи рівень забруднення.
- 3. Теплоізоляція обладнання:** Для зменшення теплового випромінювання від верстатів використовуються теплоізоляційні матеріали та екрани. Це дозволяє знижувати температурні навантаження на працівників та підтримувати комфортні умови праці.
- 4. Регулярний моніторинг:** Постійний контроль параметрів мікроклімату дозволяє вчасно виявляти та усувати відхилення від норми. Для цього

використовуються спеціальні прилади, які автоматично вимірюють температуру, вологість та інші показники мікроклімату.

Забезпечення оптимальних мікрокліматичних умов у приміщеннях з верстатами є важливим аспектом охорони праці. Виконання зазначених заходів дозволяє зменшити ризики для здоров'я працівників, підвищити їхню продуктивність та створити комфортні умови праці. Це сприяє збереженню працездатності та запобігає виникненню професійних захворювань.

Розрахунок рівня освітлення.

Вихідні дані:

- Довжина приміщення (L) = 10 м
- Ширина приміщення (W) = 15 м
- Висота приміщення (H) = 4 м

Для розрахунку освітлення скористаємося формулою, з урахуванням того, що для світлодіодних ламп коефіцієнт використання світлового потоку становить близько 0.8 - 0.9. Візьмемо $K=0.85$

Спочатку визначимо площу приміщення:

$$A = L \times W = 10\text{м} \times 15\text{м} = 150\text{м}^2$$

Для верстатного приміщення потрібна середня освітленість на робочому місці $E = 500$ лк.

Визначимо потрібний світловий потік:

$$F = \frac{E \cdot A}{K}$$

Підставимо значення:

$$F = \frac{500\text{лк} \cdot 150\text{м}^2}{0,85} = \frac{7500\text{лм}}{0,85} = 88235,29\text{лм}$$

Отже, для забезпечення необхідного рівня освітленості у виробничому приміщенні з верстатами потрібно сумарний світловий потік у 88235.29 лм з використанням світлодіодних ламп.

Розрахунок рівня шуму.

Рівень шуму у виробничому приміщенні з верстатами є важливим показником, оскільки надмірний шум може негативно впливати на здоров'я працівників. Розрахунок рівня шуму здійснюється за формулою для звукового тиску в приміщенні:

$$L_p = L_\omega - 20 \log(d) - 8$$

де:

- L_p — рівень звукового тиску (дБ)
- L_ω — рівень звукової потужності джерела шуму (дБ)
- d — відстань від джерела шуму (м)

Вибір вихідних даних:

Припустимо, що середній рівень звукової потужності для одного верстата $L_\omega = 90$ дБ. Відстань до найближчого верстата $d=2$ м.

Розрахунок рівня звукового тиску:

$$L_p = 90 \text{ дБ} - 20 \log(2) - 8$$

Визначимо значення логарифму:

$$\log(2) \approx 0,301$$

Підставимо значення:

$$L_p = 90 \text{ дБ} - 20 \cdot 0,301 - 8$$

$L_p=90\text{дБ}-6.02-8$

$L_p=75.98\text{дБ}$

Це рівень звукового тиску на відстані 2 метри від верстата.

Рівень освітлення: Для забезпечення необхідного рівня освітленості у виробничому приміщенні з верстатами потрібен сумарний світловий потік у 88235.29 лм з використанням світлодіодних ламп. Світлодіодні лампи є ефективним рішенням, яке забезпечує високий коефіцієнт використання світлового потоку, знижуючи енергоспоживання та покращуючи освітлення на робочих місцях.

Рівень шуму: Рівень шуму на відстані 2 метри від одного верстата складає приблизно 75.98 дБ, що є типовим для такого роду приміщень. Враховуючи наявність кількох верстатів у приміщенні, необхідно впроваджувати додаткові заходи щодо зниження шуму, такі як звукоізоляція приміщення, використання захисних засобів для працівників та регулярний моніторинг рівня шуму.

Ці розрахунки допомагають забезпечити оптимальні умови праці у виробничому приміщенні з верстатами, що сприяє збереженню здоров'я працівників, підвищенню їхньої продуктивності та безпеці на робочих місцях.

4.2. Цивільний захист на підприємстві з верстатами.

Цивільний захист на підприємствах є системою заходів, спрямованих на захист працівників та населення в разі виникнення надзвичайних ситуацій. Для підприємств з верстатами це питання є особливо актуальним через можливість виникнення техногенних аварій, пожеж, вибухів та інших небезпек, які можуть призвести до значних матеріальних втрат та загрози життю і здоров'ю людей.

Основні принципи цивільного захисту

Цивільний захист базується на чотирьох основних принципах: попередження, готовність, реагування та відновлення.

Попередження

Попередження включає комплекс заходів, спрямованих на запобігання виникненню надзвичайних ситуацій. Це технічне обслуговування обладнання, регулярні перевірки систем безпеки, впровадження сучасних технологій та навчання персоналу. Важливо проводити аудит безпеки та аналіз потенційних ризиків для своєчасного виявлення та усунення небезпек.

Готовність

Готовність передбачає забезпечення працівників та обладнання до дій у разі виникнення надзвичайної ситуації. Це включає проведення навчань, інструктажів та розробку планів евакуації. Працівники повинні знати, як діяти в екстрених ситуаціях, де знаходяться засоби індивідуального захисту та евакуаційні виходи.

Реагування

Реагування включає оперативні дії під час виникнення надзвичайної ситуації. Це евакуація, ліквідація наслідків аварій, надання першої допомоги постраждалим та координація з рятувальними службами. Важливо мати чіткий план дій та відповідальних осіб для кожного етапу реагування.

Відновлення

Відновлення включає комплекс заходів з відновлення нормального функціонування підприємства після ліквідації наслідків надзвичайної ситуації. Це ремонт обладнання, відновлення виробничих процесів, психологічна підтримка працівників та аналіз причин надзвичайної ситуації для запобігання повторенню.

Заходи цивільного захисту

- 1. Навчання та інструктажі:** Регулярне проведення навчань з питань цивільного захисту для працівників підприємства. Це включає теоретичні заняття та практичні тренування з евакуації, надання першої допомоги та дій у разі пожежі.
- 2. Плани евакуації:** Розробка та впровадження детальних планів евакуації працівників у разі виникнення надзвичайної ситуації. План повинен містити інформацію про евакуаційні маршрути, розташування засобів індивідуального захисту, зборівні пункти та відповідальних осіб за евакуацію.
- 3. Системи оповіщення:** Встановлення сучасних систем оповіщення про виникнення надзвичайної ситуації. Це можуть бути звукові сигнали, світлові індикатори, текстові повідомлення та інші засоби, які швидко сповіщають працівників про небезпеку.
- 4. Засоби індивідуального захисту:** Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, такими як протигази, респіратори, захисний одяг та інші засоби, необхідні для захисту від небезпечних факторів. Важливо, щоб ці засоби були в належному стані та регулярно перевірялися.
- 5. Пожежна безпека:** Обладнання приміщень системами пожежогасіння, пожежними сигналізаціями та вогнегасниками. Регулярне проведення пожежних інструктажів та навчань дозволяє працівникам діяти ефективно у разі виникнення пожежі.

6. **Технічне обслуговування та модернізація обладнання:** Регулярне технічне обслуговування та своєчасна заміна застарілого обладнання дозволяє знизити ризики виникнення аварій та інших надзвичайних ситуацій.
7. **Співпраця з екстреними службами:** Встановлення тісних контактів з місцевими рятувальними службами, пожежними частинами та медичними установами. Це дозволяє швидко отримувати допомогу в разі необхідності та координувати дії під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Цивільний захист на підприємствах з верстатами включає комплекс заходів, спрямованих на попередження, готовність, реагування та відновлення у разі виникнення надзвичайних ситуацій. Виконання зазначених заходів дозволяє знизити ризики для життя та здоров'я працівників, а також забезпечити безперебійну роботу підприємства. Надійна система цивільного захисту є гарантією безпеки працівників та стабільного функціонування виробництва.

Цивільний захист на підприємстві з верстатами в Україні.

Законодавча база

В Україні цивільний захист регулюється низкою нормативних документів, серед яких основними є:

- **Закон України "Про цивільний захист"** — визначає основні принципи та засади організації цивільного захисту.
- **Кодекс цивільного захисту України** — встановлює правові та організаційні засади захисту населення та територій від надзвичайних ситуацій.
- **Державні будівельні норми (ДБН)** — регламентують вимоги до безпеки виробничих приміщень.
- **Правила охорони праці на підприємствах машинобудівної галузі** — містять вимоги щодо безпеки праці та захисту працівників.

Основні заходи цивільного захисту на підприємстві

1. Аналіз ризиків і планування

- Проведення регулярного аналізу ризиків, пов'язаних з експлуатацією верстатів.
- Розробка та впровадження планів дій у разі надзвичайних ситуацій, включаючи евакуацію працівників.

2. Навчання і тренування

- Регулярне проведення інструктажів з цивільного захисту для всіх працівників.
- Організація тренувань та навчальних евакуацій для відпрацювання дій у разі надзвичайних ситуацій.

3. Системи оповіщення та комунікації

- Встановлення систем оповіщення про надзвичайні ситуації.

- Налагодження ефективних каналів комунікації між підрозділами підприємства та зовнішніми службами (пожежна охорона, медичні служби, рятувальні служби).

4. Засоби індивідуального та колективного захисту

- Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (каски, окуляри, респіратори).
- Обладнання приміщень засобами колективного захисту (системи пожежогасіння, аварійні виходи, вентиляція).

5. Пожежна безпека

- Встановлення пожежних сигналізацій та систем автоматичного пожежогасіння.
- Забезпечення приміщень достатньою кількістю вогнегасників та інших засобів боротьби з пожежами.
- Проведення регулярних перевірок протипожежного стану приміщень.

6. Медичне забезпечення

- Організація пунктів першої медичної допомоги.
- Проведення навчань з надання першої допомоги для працівників.

7. Моніторинг та удосконалення

- Регулярний моніторинг ефективності заходів цивільного захисту.
- Постійне удосконалення системи цивільного захисту з урахуванням нових ризиків та технологій.

ВИСНОВКИ ДО 4 РОЗДІЛУ

У першому підрозділі було досліджено питання забезпечення оптимальних мікрокліматичних умов в приміщеннях з верстатами. Було розглянуто основні параметри мікроклімату, такі як температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та інтенсивність теплового випромінювання. Забезпечення комфортних умов праці шляхом належної вентиляції, кондиціонування, теплоізоляції обладнання та регулярного моніторингу мікроклімату є ключовим для збереження здоров'я працівників та підвищення їхньої продуктивності.

У другому підрозділі було розглянуто питання цивільного захисту на підприємстві з верстатами. Було висвітлено основні принципи цивільного захисту, такі як попередження, готовність, реагування та відновлення. Особлива увага була приділена навчанням та інструктажам працівників, розробці планів евакуації, встановленню систем оповіщення, забезпеченню засобами індивідуального захисту та пожежній безпеці. Ефективна система цивільного захисту дозволяє знизити ризики для життя та здоров'я працівників, забезпечити безпеку на виробництві та мінімізувати наслідки надзвичайних ситуацій.

Система цивільного захисту на підприємствах з верстатами в Україні станом на 2024 рік включає комплекс заходів, спрямованих на попередження, готовність, реагування та відновлення після надзвичайних ситуацій. Виконання зазначених заходів дозволяє знизити ризики для життя та здоров'я працівників, а також забезпечити безперебійну роботу підприємства. Надійна система цивільного захисту є гарантією безпеки працівників та стабільного функціонування виробництва.

ВИСНОВКИ

Вивчаючи процеси газообміну в двигунах внутрішнього згорання без застосування розподільчих валів, можна зробити кілька важливих висновків:

Ефективність газообміну: Відсутність розподільчих валів може оптимізувати процеси впуску та випуску газів, знижуючи механічні втрати та підвищуючи ефективність.

Складність конструкції: Без використання розподільчих валів двигунова система стає складнішою в проектуванні та виготовленні, що може збільшити вартість виробництва.

Надійність та довговічність: Відсутність розподільчих валів може зменшити знос механічних компонентів, підвищуючи надійність і довговічність двигуна.

Інноваційні технології: Нові методи, такі як електричне управління клапанами, відкривають можливості для покращення керованості та адаптивності двигуна до різних режимів роботи.

Дослідження в цій галузі є перспективними для подальшого розвитку ефективних та надійних двигунів внутрішнього згорання.

Використання електромагнітних елементів для керування клапанами дозволяє значно знизити механічні втрати на тертя. Це покращує загальний тепловий баланс двигуна, зменшуючи витрати енергії на подолання тертя.

Система без розподільчих валів забезпечує незалежне керування кожним клапаном. Це дозволяє оптимізувати фази газообміну для різних режимів роботи двигуна, що сприяє поліпшенню наповнення циліндрів і ефективності згорання паливоповітряної суміші.

Кращий контроль над фазами відкриття і закриття клапанів дозволяє більш ефективно управляти процесом згорання, що може призвести до зниження викидів шкідливих речовин, таких як NO_x і CO₂.

Двигуни з системою газообміну без розподільчих валів мають кращу продуктивність в усіх режимах роботи. Це робить їх більш привабливими для використання в сучасних автомобілях, де важливі як ефективність, так і екологічність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hara, S.; Suga, S.; Watanabe, S.; Nakamura, M. Variable valve actuation systems for environmentally friendly engines. *Hitachi Rev.* 2009, 58, 319–324.
2. Yang, Y.; Liu, J.; Lu, P.; Cheng, Y.; Ye, D. Multifunctional optimal design of an electromagnetic valve actuator with hybrid magnetomotive force for a camless engine. In Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Machines and Systems, Beijing, China, 20–23 August 2011; pp
3. Pischger, M.; Salber, W.; Staay, F.V.D.; Baumgarten, H.; Kemper, H. Low Fuel consumption and low emissions—Electromechanical valvetrain in vehicle operation. *Int. J. Autom. Technol.* **2000**, 1, 17–25.
4. *Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І.* Автомобільні двигуни: Підручник. — К.: Арістей, 2006. — 476 с.
5. *Саранчук І. В., Ільяшов М. О., Ошовський В. В., Білецький В. С.* Хімія і фізика горючих копалин. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. — 600 с.
6. *Сирота В. І.* Основи конструкції автомобілів. Навчальний посібник для вузів. — К.: Арістей, 2005. — 280 с.
7. *Боровських Ю. І., Буральов Ю. В., Морозов К. А.* Будова автомобілів: навчальний посібник / Ю. І. Боровських, Ю. В. Буральов, К. А. Морозов. — К.: Вища школа, 1991. — 304 с
8. *Гнітько С. М., Бучинський М. Я., Попов С. В., Чернявський Ю. А.* Технологічні машини: підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти. — Харків: НТМТ, 2020. — 258 с.
9. Автомобільні двигуни: навч. посіб. / Р. В. Зінько, Б. Р. Бучківський, В. М. Зіркевич, А. М. Андрієнко ; М-во оборони України, Акад. сухопут. військ

ім. гетьмана Петра Сагайдачного. — Л. : [АСВ], 2011. — 189 с. : іл. — Бібліогр.: с. 159—160

10. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. — Т. 1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин.

11. Кисликов В. Ф., Луцик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 6-те вид. — К.: Либідь, 2006. — 400 с.

12. Rebhan, M.; Stokes, J. Two-stroke/four-stroke multicylinder gasoline engine for downsizing applications. *MTZ Worldw.* **2009**, *70*, 40–45.

13. Qiu, Y.; Perreault, D.J.; Keim, T.A.; Kassakian, J.G.; Fellow, L. Optimal Cam Design and System Control for an Electromechanical Engine Valve Drive. In Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Industrial Technology, Vina del Mar, Chile, 14–17 March 2010; pp. 565–572

14. Malamov, D.; Hadzhiev, I.; Yatchev, I. Influence of the pole shapes on the force characteristics of a DC solenoid actuator. In Proceedings of the 2017 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Sofia, Bulgaria, 1–3 June 2017; pp. 435–438.

15. Payri, R.; De la Morena, J.; Pagano, V.; Hussain, A.; Sammut, G.; Smith, L. One-dimensional modeling of the interaction between close-coupled injection events for a ballistic solenoid injector. *Int. J. Engine Res.* **2019**, *20*, 452–469

17. Yun, S.N.; Ham, Y.B.; Park, J.H. Attraction force improvement strategy of a proportional solenoid actuator for hydraulic pressure control valve. In Proceedings of the 2012, 12th International Conference on Control, Automation and Systems, JeJu Island, Korea, 17–21 October 2012; pp. 1123–1127.

18. Cope, D.; Wright, A.; Corcoran, C.; Pasch, K.; Fischer, D. *Fully Flexible Electromagnetic Valve Actuator: Design, Modeling, and Measurements*; SAE Technical Paper: Warrendale, PA, USA, 2008
19. Pierik, R., Burkhard, J., "Design and Development of a Mechanical Variable Valve Actuation System," SAE Paper 2000-01-3307, 2000.
20. Sellnau, M., and Rask, E., "Two-Step Variable Valve Actuation for Fuel Economy, Emissions, and Performance, SAE Paper 2003-01-0029, 2003.
21. "European Centers of Power," Automotive Engineering International, June 2004, p. 67.
22. Wang, Y., Peterson, K., et al, "Modeling and Control of Electromechanical Valve Actuator," SAE Paper 2002-01-1106, 2002.
23. Cope, D., Wright, A., "Electromagnetic Fully Flexible Valve Actuator", SAE Paper 2006-01- 0044, 2006.
24. Hoffman, Bernhard, "Fully Variable Valve actuation with electromagnetic Linear Motor", SIA Conference on Variable V