

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра автомобілів та транспортних технологій**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської роботи
освітнього ступеня магістр

Галузь знань 27 - «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

**на тему: «Дослідження мехатронної системи управління двигуном автомобіля
DAEWOO LANOS при роботі на зрідженому газі»**

Виконав: студент групи ААГ - 21м



Богдан БЛИЩИК

Керівник



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Завідувач кафедри



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент



Ігор Шепеленко

Житомир - 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра: автомобілів та транспортних технологій
Освітній ступінь: «магістр»
Галузь знань: 27 «Транспорт»
Спеціальність: 274 - Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А і ТТ
Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

« 12 » вересня 2024р.

ЗАВДАННЯ

до магістерської роботи освітнього ступеня магістр

Блищика Богдана Юрійовича

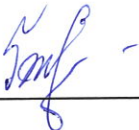
- 1. Тема роботи:** «Дослідження мехатронної системи управління двигуном автомобіля DAEWOO LANOS при роботі на зрідженому газі» затверджена наказом вищого навчального закладу від «6» листопада 2024р. №636-с
Керівник роботи: к.т.н., доц. Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ
- 2. Строк подання студентом завершеної роботи:** 19.12.2024 р.
- 3. Вихідні дані до роботи:** довідникова література, наукові розробки та публікації, державні стандарти.
- 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):** вступ, аналіз сучасного стану мехатронного управління двигунами внутрішнього згоряння, теоретичне та експериментальне дослідження системи управління двигуном, список використаних джерел.
- 5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) - 9 слайдів.**

Дата видачі завдання « 12 » вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Аналіз сучасного стану мехатронного управління двигунами внутрішнього згоряння	17.09.2024	виконано
2.	Теоретичне дослідження системи управління двигуном	08.10.2024	виконано
3.	Експериментальне дослідження системи управління двигуном	30.10.2024	виконано
4.	Оформлення роботи	07.12.2024	виконано
5.	Рецензування	15.12.2024	виконано
6.	Захист роботи	22.12.2024	виконано

Студент

 _____ Богдан БЛИЩИК

Керівник роботи

 _____ Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Магістерської роботи на тему: «Дослідження мехатронної системи управління двигуном автомобіля DAEWOO LANOS при роботі на зрідженому газі», виконаної студентом групи ААГ-21м, факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки державного університету «Житомирська політехніка» Блищиком Богданом Юрійовичем, керівник к.т.н. Шумляківський В.П.

Робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури.

У першому розділі аналізовано сучасний стан мехатронного управління двигунами внутрішнього згоряння.

У другому розділі проведено теоретичне дослідження системи управління двигуном.

У третьому розділі проведено експериментальне дослідження системи управління двигуном.

Ключові слова: *двигун, система управління, кут випередження запалювання, мехатронна система.*

ABSTRACT

Master's thesis on the topic: " Research of the mechatronic engine control system of the DAEWOO LANOS car when operating on liquefied gas", performed by a student of the AAG-21m group, the Faculty of Computer-Integrated Technologies, Mechatronics and Robotics of the Zhytomyr Polytechnic State University, Blyshchyk Bohdan Yuriyovych, supervisor: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Shumlyakivskyi V.P.

The work consists of an introduction, three sections, conclusions, and a list of references.

The first section analyzes the current state of mechatronic control of internal combustion engines.

The second section conducts a theoretical study of the engine control system.

The third section conducts an experimental study of the engine control system.

Key words: *engine, control system, ignition advance angle, mechatronic system.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. Аналіз сучасного стану мехатронного управління двигунами внутрішнього згоряння	8
1.1. Аналіз датчиків мехатронних систем управління двигуном.....	8
1.2. Вибір конструкції системи управління двигуном.....	25
Висновки до розділу.....	30
РОЗДІЛ 2. Теоретичне дослідження системи управління двигуном.....	31
2.1. Методика дослідження.....	31
2.2. Проектування та виготовлення мехатронної системи управління двигуном «DAEWOO LANOS».....	33
Висновки до розділу	37
РОЗДІЛ 3. Експериментальне дослідження системи управління двигуном.....	38
3.1. Об'єкт випробувань.....	38
3.2. Результати експериментальних досліджень.....	41
3.3. Аналіз експериментальних даних.....	48
3.4. Економічні показники.....	51
Висновки до розділу	55
ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

Актуальність теми: на сьогоднішній день вимоги до паливної економічності та екологічних якостей двигуна є одним з найважливіших завдань, які намагаються вирішити різною зміною та оптимізацією конструктивних параметрів двигуна, його систем та застосуванням мехатронного управління двигуна. Особливо, в міських умовах при розгоні автомобілів, двигуни яких переобладнанні для роботи на зрідженому газі, через не оптимальність кута випередження запалення(КВЗ) дросельна заслінка повинна підтримувати роботу двигуна і бути відкритою на мінімальний кут. В цьому режимі двигуну не вистачає прискорення, він витрачає більше палива і збільшується викид шкідливих відпрацьованих газів. У зв'язку з цим регулювання КВЗ на холостому режимі та при розгоні, що оптимізує витрату палива та шкідливі викиди є дуже актуальним науковим завданням.

Мета роботи: Підвищення економічних та екологічних показників роботи автомобільних двигунів, які переобладнанні для роботи на зрідженому газі, на холостому ходу та при розгоні з використанням мехатронних систем управління.

Задачами роботи є:

1. аналіз мехатронних систем двигунів;
2. аналіз паливної економічності та режиму експлуатації двигунів;
3. методика експериментальних випробувань двигуна;
4. визначення екологічних та економічних показників двигуна.

Об'єктом даної роботи є автомобільний двигун з мехатронною системою управління.

Предметом даної роботи є процеси управління кутом випередження запалення в системі управління двигуном внутрішнього згоряння автомобіля, переобладнаного для роботи на зрідженому газі.

Методи та методика дослідження: вплив на параметри характеристик та отримання показників.

Наукова новизна дослідження: наукова новизна полягає у підборі оптимального кута випередження запалення у режимі холостого ходу та при розгоні застосуванням мехатронної системи управління.

Практична та теоретична значимість дослідження: Поліпшення паливної економічності, а відтак і зниження викидів токсичних газів у режимі холостого ходу та при розгоні двигуна. Його правильне управління за рахунок мехатронної системи, забезпечить отримання кращих характеристик двигуна.

Структура та зміст роботи: складається із запровадження, аналізу поточного стану проблеми, цілей та завдань обраного напрямку досліджень, аналізу методів дослідження порівняння розрахункових та експериментальних даних, економічної оцінки розробки та загальних висновків, рекомендацій та списку використаної літератури.

Основні результати виконаної роботи: За підрахунками на день автомобіль у середньому на холостий хід та на розгін витрачає близько 3,5 літрів газу. Через оптимальні КВЗ - економія становить 20% з 3,5 літрів виходить 0,7 літра. Тобто ми з кожної машини на день заощаджуємо близько 0,7 літра газу, а якщо це число помножити на кількість автомобілів цієї модифікації, що експлуатуються у місті, вийде велика кількість. Це означає велику економію палива.

Короткий виклад висновків та пропозицій: Підвищення економічних та екологічних показників автомобільних двигунів під час використання мехатронних систем управління, тобто за оптимізації КВЗ двигуна. Цей спосіб дозволяє економити з одного літра палива приблизно 10,5%. Якщо це число помножити на кількість палива, що витрачається в день автомобільним транспортом, що пересувається в міські умови, вийде велика цифра. Автоматичне регулювання КВЗ двигуна дозволяє покращити паливну економічність і знизити викиди токсичних газів у всіх режимах роботи.

РОЗІДЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕХАТРОННОГО УПРАВЛІННЯ ДВИГУНАМИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

1.1. Аналіз датчиків мехатронних систем управління двигуном

Мехатроніка - ця нова галузь науки і техніки, присвячена створенню та експлуатації машин та систем з комп'ютерним управлінням, яка базується на знаннях в галузі механіки, електроніки та мікропроцесорної техніки, інформатики та комп'ютерного управління рухом машин та агрегатів[1].

Мехатроніка вивчає синергетичне об'єднання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними та комп'ютерними компонентами з метою проектування та виробництва якісно нових модулів, систем, машин та комплексу машин з інтелектуальним управлінням їх функціональними рухами.

Розвиток поршневих ДВЗ за низкою їх властивостей досяг межі. Функціонування сучасного автомобіля та його силової установки неможливе без комплексного управління робочими процесами всіх їх елементів з використанням сучасних інформаційних та комунікаційних технологій.

В сучасному двигуні це забезпечується використанням автоматичної системи управління робочими процесами, що включає: сукупність датчиків, що забезпечують отримання інформації, необхідної для управління; електронний блок управління, що формує на основі отриманої від датчиків інформації керуючі дії; виконавчі пристрої, що реалізують керуючі дії сигналів, що надходять від блоку управління.

Система управління реалізує ефективну роботу ДВЗ на всіх режимах, діагностику відхилень його роботи від штатних параметрів та відповідно можливу їхню корекцію. Основні напрями роботи цієї системи такі: паливоподача та іскрове запалювання суміші, фази газорозподілу, керовані системи впуску та наддуву, керована інтенсивність вихрового руху заряду в циліндрі, нейтралізація відпрацьованих газів тощо[2].

Системою управління двигуном називається електронна система управління, яка забезпечує роботу двох та більше систем двигуна. Система є одним із основних електронних компонентів у електроустаткуванні автомобіля.

Генератором розвитку систем управління двигуном у світі є німецька фірма Bosch. Технічний прогрес у галузі електроніки, жорсткі норми екологічної безпеки зумовлюють неухильне зростання числа підконтрольних систем двигуна.

Найпростішою системою управління двигуном є об'єднана система упорскування та запалювання. Сучасна система управління двигуном поєднує значно більше систем та пристроїв, серед яких[3,4]:

- паливна система;
- система упорскування;
- система впуску;
- система запалювання;
- випускна система;
- система охолодження;
- система рециркуляції відпрацьованих газів;
- система уловлювання парів бензину;
- вакуумний підсилювач гальм.

Система управління двигуном має таку загальну будову:

- вхідні датчики;
- електронний блок управління;
- виконавчі пристрої систем двигуна

Схема системи управління двигуном

Вхідні датчики вимірюють конкретні параметри роботи двигуна та перетворюють їх на електричні сигнали. Інформація, що отримується від датчиків, є основою управління двигуном. Система управління двигуном складається з наступних вхідних датчиків таблиця 1.1.

Датчики системи управління двигуном

Використовується в роботі паливної системи	датчик тиску палива в контурі низького тиску;
Використовується в роботі системи впорскування	- датчик тиску палива; - датчик частоти обертання колінчастого валу; - датчик Холла; - датчик положення педалі газу; - витратомір повітря; - датчик температури охолоджувальної рідини; - датчик температури повітря на впуску
Використовується в роботі системи впуску	- витратомір повітря (при наявності); - датчик температури повітря на впуску; - датчик положення дросельної заслінки; - датчик тиску в впускному колекторі
Використовується в роботі системи запалювання	- датчик положення педалі газу; - датчик частоти обертання колінчастого валу; - датчик Холла; - датчик детонації; - витратомір повітря; - датчик температури повітря на впуску; - датчик температури охолоджувальної рідини; - кисневі датчики;
Використовується в роботі системи відпрацьованих газів	- датчик температури відпрацьованих газів; - кисневий датчик перед нейтралізатором; - кисневий датчик після нейтралізатора; - датчик оксидів азоту;
Використовується в роботі системи охолодження	- датчик температури охолоджувальної рідини; - датчик температури оливи
Використовується в роботі системи вакуумного підсилювача гальм	датчик тиску в магістралі вакуумного підсилювача гальм

Залежно від типу та моделі двигуна номенклатура датчиків може змінюватись.

Електронний блок управління двигуном приймає інформацію від датчиків і відповідно до закладеного програмного забезпечення формує управляючі команди на виконавчі пристрої систем двигуна. У своїй роботі електронний блок управління взаємодіє із блоками управління автоматичною коробкою передач, системою ABS(ESP), електропідсилювача керма, подушками безпеки та ін.[5].

Виконавчі пристрої входять до складу конкретних систем двигуна та забезпечують їх роботу.

Виконавчими пристроями паливної системи є паливний електронасос та перепускний клапан. У системі упрорскування керованими елементами є форсунки та клапан регулювання тиску. Робота системи впуску управляється за допомогою приводу дросельної заслінки та приводу впускних заслінок.

Котушки запалювання є виконавчими пристроями запалювання. Система охолодження сучасного автомобіля також має ряд компонентів, керованих електронікою: термостат, реле додаткового насоса рідини, що охолоджує, блок управління вентилятора радіатора, реле охолодження двигуна після зупинки.

У випускній системі здійснюється примусовий підігрів кисневих датчиків та датчика оксидів азоту, необхідний для їх ефективної роботи. Виконавчими пристроями системи рециркуляції газів, що відпрацювали, є електромагнітний клапан управління подачею вторинного повітря, а також електродвигун насоса вторинного повітря. Управління системою уловлювання парів бензину здійснюється за допомогою електромагнітного клапана продування адсорбера.

Принцип роботи системи управління двигуном заснований на комплексному управлінні величиною крутного моменту двигуна.

2. запуск;
3. прогрів;
4. холостий перебіг;
5. рух;
6. перемикання передач;

7. гальмування;
8. робота системи кондиціювання.

Зміна величини крутного моменту, проводиться двома способами - шляхом регулювання наповнення циліндрів повітрям і регулюванням кута випередження запалювання.

Елементи систем впорскування

Датчик кисню (лямбда-зонд)

Чутливий елемент датчика кисню знаходиться в потоці газів, що відпрацювали. Досягнення датчиком робочих температур, що перевищують 360 град. З, він починає генерувати власну ЕРС, пропорційну вмісту кисню у відпрацьованих газах. На практиці, сигнал ДК (при замкнутій петлі зворотного зв'язку) являє собою напругу, що швидко змінюється, що коливається між 50 і 900 мілівольт. Зміна напруги викликана тим, що система управління постійно змінює склад суміші поблизу точки стехіометрії, сам ДК не здатний генерувати будь-яку змінну напругу [6,7].

Вихідна напруга залежить від концентрації кисню у газах, що відпрацювали, в порівнянні з опорними даними про вміст кисню в атмосфері, що надходять з елемента конструкції датчика, що служить для визначення концентрації атмосферного кисню (рис. 1.1). Цей елемент є порожниною, що з'єднується з атмосферою через невеликий отвір в металевому зовнішньому кожусі датчика. Коли датчик знаходиться в холодному стані, він не здатний генерувати власну ЕРС, і напруга на виході ДК дорівнює опорному (або близько до нього).

λ -діапазон роботи каталітичного нейтралізатора

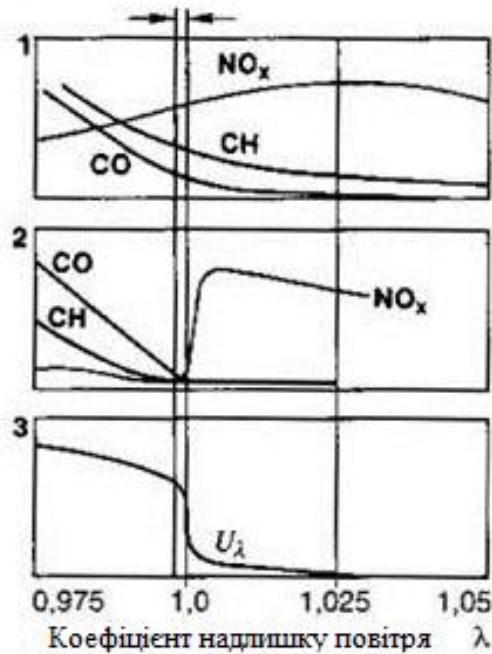


Рис. 1.1. - Графіки залежностей відпрацьованих газів

Для прискорення прогріву датчика до робочої температури він має електричний нагрівальний елемент. Розрізняють датчики із постійним та імпульсним живленням нагрівального елемента, в останньому випадку, підігрівом ПК керує ЕБУ. Електронний блок управління постійно подає на ланцюг датчика стабільну опорну напругу 450 мілівольт. Непрогрітий датчик має високий внутрішній опір і не генерує власну ЕРС, тому ЕБУ "бачить" тільки вказану стабільну опорну напругу. По мірі прогріву датчика при працюючому двигуні його внутрішній опір зменшується, і він починає генерувати власну напругу, яка перебиває ту що видає ЕБУ - стабільна опорна напруга. Коли ЕБУ "бачить" змінну напругу, йому стає відомим, що датчик прогрівся, та його сигнал готовий для застосування з метою регулювання складу суміші[8].

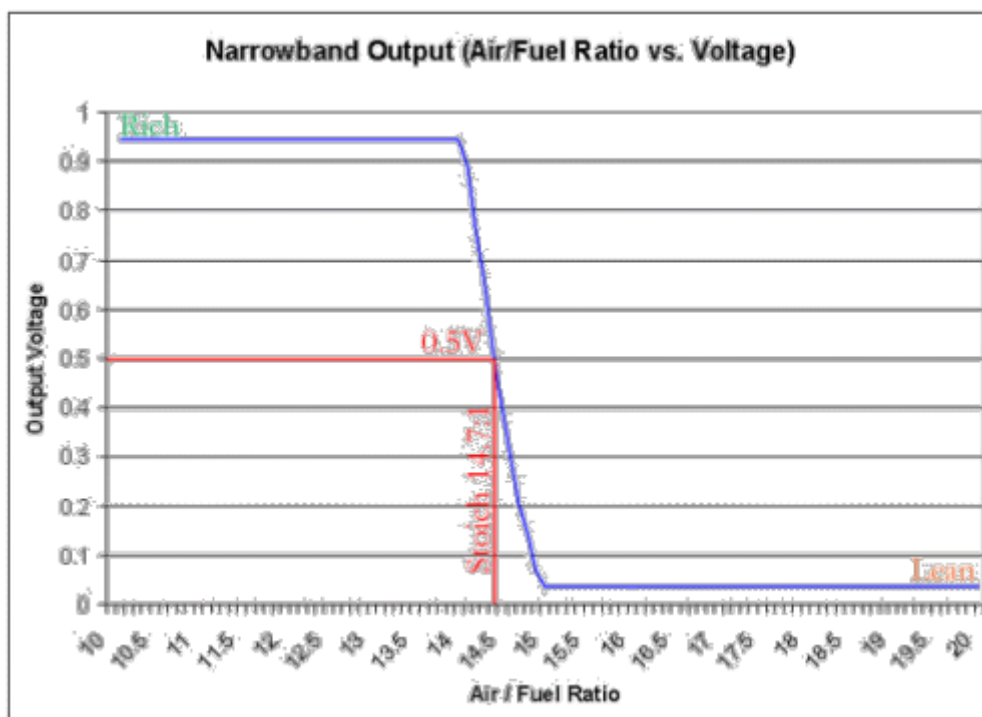


Рис .1.2. - Графік вихідного сигналу датчика кисню

Датчик кисню, що застосовується в серійних системах упорскування, не здатний реєструвати зміни складу суміші, що помітно відрізняються від 14,7:1, в силу того, що лінійна ділянка його характеристики дуже "вузька" (див. графік 1.2). За цими межами лямбда – зонд майже змінює напруга, тобто реєструє зміни складу ОГ.



Рис.1.3 - Фотографія датчиків

На автомобілях DAEWOO LANOS колишніх модифікацій (1,5 л.) в системах Євро-2 застосовувався датчик Bosch 0258005133. У системах Євро-3 він застосовувався, як перший ДК, що встановлюється до каталізатора. Другим ДК,

для контролю вмісту шкідливих викидів після каталізатора встановлюється датчик із "зворотним" роз'ємом (хоча, зустрічаються і авто з однаковими). У нових автомобілях 1,5/1,6 л., із системою упорскування Bosch M7.9.7 та Січень 7.2, що випускалися з жовтня 2004 р. встановлюється датчик Bosch 0258006537. Зовнішні відмінності дивіться на фотографіях. Новий ДК має керамічний нагрівач, що дозволяє суттєво знизити споживаний струм і зменшити час прогріву[9].

Для заміни оригінальних лямбда - зондів, що вийшли з ладу, фірма Bosch випускає спеціальну серію з 7 універсальних датчиків, які перекривають практично весь діапазон застосовуваних штатних датчиків.

Каталітичний нейтралізатор

У автомобілях із зворотним зв'язком по ДК (норми токсичності Євро-2, Євро-3 та вище) застосовується нейтралізатор шкідливих викидів у вихлопних газах. Застосування каталізаторів на системах без ОС можливе, при грамотному налаштуванні і повністю справному двигуні, тому що найбільш ефективно працює тільки на сумішах, близьких до стехіометричних (14,7:1), при будь-якому відхиленні від яких ефективність його значно знижується.

У автомобілях минулих років випуску застосовувався керамічний нейтралізатор, який замінив металевий. В останніх моделях 16V двигуни 1,6 можуть оснащуватися так званим катколектором. Слід уважно ставитись до цього пристрою - каталізатор (або катколектор) найбільш ефективно працюють при дуже високій температурі і при пропусках займання в якому-небудь циліндрі бензин займатиметься в каталізаторі (катколекторі), виділяючи величезну теплову енергію - за лічені хвилини він розжарюється до білого, що може спричинити порушення електропроводки і навіть займання автомобіля. Саме з цієї причини не рекомендується відключати у прошивках діагностику пропусків займання. Попадання незгорілого палива в катколектор здатне за лічені секунди зруйнувати його[10].

Датчик масової витрати повітря

Існує чимало різних типів датчиків масової витрати повітря (ДМРП): механічні (флюгерного типу), ультразвукові, термоанемометричні тощо.

У цьому розділі ми розглянемо будову термоанемометричного датчика HFM-5 виробництва Bosch, що встановлюється на автомобілі DAEWOO LANOS. Чутливий елемент датчика є тонкою плівкою, на якій розташовано кілька температурних датчиків і нагрівальний резистор. Всередині плівки знаходиться область підігріву, ступінь нагріву якої контролюється за допомогою температурного датчика. На поверхні плівки з боку потоку повітря та з протилежного боку симетрично розташовані ще два термодатчики, які за відсутності потоку повітря реєструють однакову температуру. За наявності потоку повітря перший датчик охолоджується, а температура другого залишається практично незмінною внаслідок підігріву потоку повітря в зоні нагрівача. Диференціальний сигнал обох датчиків пропорційний масі повітря, що проходить. Електронна схема датчика перетворює цей сигнал на постійну напругу, пропорційну масі повітря. Така конструкція отримала назву HotFilm (HFM), до її переваг можна віднести високу точність вимірювання та здатність реєструвати зворотний потік повітря, до недоліків – низьку надійність в умовах забруднення та попадання вологи.

У старих системах (ЕБУ Січень-4 та GM-ISFI-2S) застосовувалися інші термоанемометричні ДМРП, чутливі елементи яких були виконані у вигляді ниток. Такі датчики отримали назву HotWire MAF Sensor. Вихідний сигнал цих датчиків був частотний, тобто залежно від витрат повітря змінювалося не напруга, а частота вихідних імпульсів. Датчики були менш точними, не дозволяли реєструвати зворотний потік, але ці недоліки перекривала дуже висока надійність.

ДМРП – дуже важливий датчик у будь-якій системі управління. На основі його сигналу проводиться розрахунок циклового наповнення циліндра, що перераховується в кінцевому підсумку тривалість імпульсу відкриття форсунок.

На автомобілі DAEWOO LANOS встановлювалися декілька типів датчиків: GM, Bosch, Siemens. На DAEWOO LANOS встановлювалися два типи датчиків 0280218-037 і 0280218-004. Ці датчики видають різні параметри вихідної напруги (тарування) на однаковій витраті повітря і зміна (вірніше, заміна 004 на 037, як правило) можлива тільки із заміною тарувальних таблиць в прошивці. Те саме стосується і нового датчика 116, що встановлюється серійно з початку 2005 року.

Відповідно до чинної документації, на DAEWOO LANOS дозволено до застосування три модифікації датчика витрати повітря HFM5 фірми Bosch.

Під каталогом DAEWOO LANOS розуміється каталоги запасних частин для конкретних автомобілів.

Історично першим був введений датчик 004 у проектах з калібруванням M1V13O54, M1V13R59, M1V05F05 та M7V03E65 (а також J5V05F16). Перші два проекти легко визначаються на вигляд тому, що вони без нейтралізатора і використовувався в них резонансний датчик детонації. Потім ці два перші проекти були припинені у виробництві і всі подальші проекти (з калібруванням наступних серій) стали укомплектовуватись датчиками 037.

Одночасно із припиненням двох вищеназваних проектів проект M7V03E65 також став комплектуватись 037 датчиком. Модифікація 037 відрізняється від 004 доопрацюванням внутрішнього повітряного каналу датчика з метою прибрати пульсації повітряного потоку, які виникають у 004 навіть при ламінарному повітряному потоці у впускному колекторі. При цьому характеристика 037 змістилася в порівнянні з 004. Вважається, що при наявності зворотного зв'язку по кисню ці відмінності компенсуються, тому калібрування проекту M7V03E65 при зміні датчика не була змінена.

З жовтня 2004 р. основним датчиком є 116. Модифікація 116 призначена для проектів із контролерами нового покоління Bosch M7.9.7 з його вітчизняними аналогами – Січень 7.2, паралельне виробництво яких розпочато фірмами Ітелма та Автел. Тарування датчика та його конструкція відрізняються від 004 та 037.

Датчик поставляється лише у зборі, з кодом та маркується зеленим колом. Сам елемент має змінену конструкцію. У 2006 р. для ускладнення крадіжки або

заміни елементів ДМРП для кріплення чутливого елемента у корпусі застосовуються спеціальні односпрямовані болти(рис. 1.4).



Рис.1.4 – Спеціальні кріплення ДМРП

На частину автомобілів класичного компонування спільно з ЕБУ застосовувалися датчики Siemens-VDO (5WK97014. AVTEL)(рис. 1.5).



Рис.1.5 – Датчик Siemens-VDO

Вони відрізняються таруванням (від нуля вольт) та схемою підключення. Підключення датчика – 1 – 12вольт; 2 – 5 вольт; 3 – вихід сигналу витрати повітря; 4 – вихід сигналу температури повітря; 5 – загальний мінус.

Принцип роботи

Мікромеханічний витратомір маси повітря з використанням нагрівальної плівки.

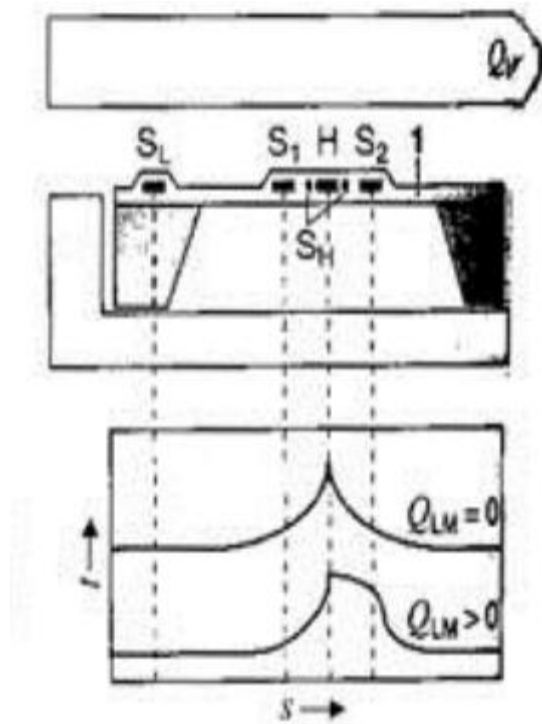


Рис. 1.6 - Обчислення об'єму повітря проводиться за різницею температур між датчиками S_1 та S_2

Нагрівальні та вимірювальні резистори виконані у вигляді тонких платинових шарів, нанесених на кристал кремнію. Обчислення обсягу повітря проводиться у різниці температур між датчиками S_1 і S_2 (рис. 1.6)[1,2].

1 - діелектрична діафрагма

H - нагрівальний резистор

SH - датчик температури нагрівального резистора

SL - датчик температури повітря

S_1 і S_2 – темп датчики до та після нагрівача.

QLM – маса повітряного потоку

t - температура

Висока вартість датчиків масової витрати повітря (ДМРП) обумовлена його високою технологічною складністю. На фото зліва - контролер обробки інформації з датчиків температури, що знаходиться усередині ДМРП [14]

Допитливі уми можуть самостійно розглянути та проаналізувати спектрограму датчика. При сильному збільшенні (30000 разів) чітко можна

побачити "смуги" нагрівального резистора та датчиків температури, вміст платини в яких сягає 38%.

Датчик температури охолоджувальної рідини

Датчик температури охолоджувальної рідини(ДТОР) є термістор, тобто. резистор, електричний опір якого змінюється в залежності від температури. Термістор, розташований усередині датчика, має негативний температурний коефіцієнт опору, тобто. при нагріванні його опір зменшується. Висока температура викликає низький опір (70 Ом при 130град.) датчика, а низька температура охолоджуючої рідини - високий опір (100800 Ом при -40град.). Залежність опору датчика температури охолоджуючої рідини від температури (орієнтовно).

Датчик практично не ламається, але буває, бреше. Досить часто перетираються дроти на підставі роз'єму так, що навіть припаяти ні до чого. При заміні датчика відкрутіть пробку розширювального бачка, щоб зняти внутрішній тиск у системі охолодження.

Датчик положення дросельної заслінки

Встановлено збоку на дросельному патрубку і пов'язаний із віссю дросельної заслінки. Датчик(ДПДЗ) є потенціометр, на один кінець якого подається плюс напруги живлення (5 В), а інший кінець з'єднаний з масою. З третього виведення потенціометра (від повзунка) йде вихідний сигнал до контролера. Коли дросельна заслінка повертається (від на педаль управління), змінюється напруга на виході датчика. При закритій дросельній заслінці воно нижче 0.7 ст. Коли заслінка відкривається, напруга на виході датчика зростає і при повністю відкритій заслінці має бути більше 4 В. Відстежуючи вихідну напругу датчика, контролер коригує подачу палива залежно від кута відкриття дросельної заслінки (тобто за бажанням водія). Датчик положення дросельної

заслінки не вимагає регулювання, т.к. контролер самостійно визначає мінімальну напругу датчика та приймає його за нульову позначку.

Найбільш ненадійний елемент у системі, якщо він вітчизняний. важко міняти без спеціального якісного інструменту. Справа в тому, що нижній гвинт кріплення незручно відвертати звичайним. викруткою, та ще при закручуванні на заводі гвинти садять на герметик, який так їх прихоплює, що при відвертанні нерідко зриває капелюшок гвинта. У таких випадках для заміни датчика необхідно знімати весь дросельний вузол у зборі. якщо ми впевнені що це 100% несправний датчик. Зрозуміло краще ставити імпорتنний датчик дросельної заслінки, хоч він і дорожчий у 3 рази.

Датчик положення колінчастого валу

ДПКВ подає в контролер сигнал частоти обертання та положення колінчастого валу. Цей сигнал є серією повторюваних електричних імпульсів напруги, що генеруються датчиком при обертанні колінчастого валу. За підсумками цих імпульсів контролер управляє форсунками і системою запалювання. ДПКВ встановлений на кришці масляного насоса на відстані близько 1+0,4мм від диска (шків) колінчастого валу, що задає. Шків колінчастого валу має 58 зубців, розташованих по колу. Зубці рівновіддалені та розташовані через 6°. Для генерування "імпульсу синхронізації" два зуби на шківі відсутні. При обертанні колінчастого валу зубці диска змінюють магнітне поле датчика, створюючи наведені імпульси напруги. По імпульсу синхронізації від датчика положення колінчастого валу, контролер визначає положення та частоту обертання колінчастого валу та розраховує момент спрацьовування форсунок та модуля запалювання. Дрот ДПКВ захищений від перешкод екраном, замкненим на масу через контролер. ДПКВ - найголовніший із усіх датчиків, при несправності якого двигун працювати не буде. Цей датчик рекомендується завжди везти із собою.

Датчик швидкості

Принцип дії датчика швидкості (ДШ) ґрунтується на ефекті Холла. Датчик видає на контролер імпульси напруги із частотою, пропорційної швидкості обертання провідних коліс. Датчики швидкості розрізняються по приєднувальних роз'ємах до колодки джгута. Квадратний роз'єм застосовується у системах БОШ. Датчик з круглим роз'ємом застосовується у системах Січень 4 та GM. Всі датчики 6-ти імпульсні, тобто видають 6 імпульсів за один оберт своєї осі. 10-ти імпульсний датчик застосовується для маршрутних карбюраторних комп'ютерів. Сигнал датчика швидкості використовується системою управління визначення порогів відключення подачі палива, і навіть для електронного обмеження швидкості автомобіля (в нових системах управління).

Встановлювати привід спідометра в тих моделях, де він є, в коробку передач потрібно дуже акуратно, при найменшому перекосі сумніваються пластмасові зубці провідної шестерні приводу спідометра і - повне розбирання коробки передач неминуче.

Датчик фаз

Датчик фаз (ДФ) раніше застосовується тільки на 16-ти клапанному двигуні 2112 та 8-кл. двигуні 2111 з нормами токсичності Євро-3 (експортні версії автомобілів), в яких встановлена система послідовного розподіленого упорскування палива або фазованого впорскування. Датчик фаз встановлюється на двигуні Ланоса у верхній частині головки блоку циліндрів за шківом впускного розподільного валу. На шківі впускного розподільного валу розташований диск з прорізом, що задає. Проходження прорізу через зону дії датчика фаз відповідає відкриття впускного клапана першого циліндра. Контролер посилає на датчик фаз опорну напругу 12В. Напруга на виході датчика фаз циклічно змінюється від значення близького до 0 (при проходженні прорізу задаючого диска впускного розподільного валу через датчик) до напруги близької напруги АКБ (при

проходженні через датчик кромки диска, що задає). Таким чином, при роботі двигуна датчик фаз видає на контролер імпульсний сигнал синхронізуючий упорскування палива з відкриттям впускних клапанів.

Регулятор холостого ходу

Регулятор холостого ходу (РХХ) служить підтримки встановлених оборотів двигуна на холостому ходу з допомогою зміни кількості повітря, що подається в двигун при закритому дроселі. РХХ розташований на дросельному патрубку і є кроковим двигуном анкерного типу з двома обмотками. При подачі імпульсу однією з них голка робить один крок уперед, на іншу - крок назад. Через черв'ячну передачу обертальний рух крокового двигуна перетворюється на поступальний рух штока. Конусна частина штока знаходиться в каналі подачі повітря для забезпечення регулювання холостого ходу двигуна. Шток регулятора висувається або втягується в залежності від керуючого сигналу контролера. Регулятор холостого ходу регулює частоту обертання колінчастого валу на режимі холостого ходу, керуючи кількістю повітря, що подається в обхід закритої дросельної заслінки. У повністю висунутому положенні (висунуте до упору положення відповідає "0" кроків), конусна частина штока перекриває подачу повітря в обхід дросельної заслінки. При відкритті клапан забезпечує витрату повітря, пропорційний переміщенню штока (кількості кроків) від свого сидла. Повністю відкрите положення клапана відповідає переміщенню штока на 255 кроків. На прогрітому двигуні контролер, керуючи переміщенням штока, підтримує постійну частоту обертання колінчастого валу на холостому ходу незалежно від стану двигуна та зміни навантаження.

У системах "Мікас" частіше використовується дещо інша назва - Регулятор Додаткового Повітря (РДВ). РДВ має іншу конструкцію: замість крокового двигуна застосовано моментний двигун, який повертає запірний елемент на певний кут, пропорційний напрузі.

Датчик детонації

Датчик детонації (ДД) служить виявлення детонаційних ударів в ДВЗ і розташований на блоці циліндрів. Конструктивно датчик є п'єзокерамічну пластину в корпусі. Існує два різновиди ДД - резонансні та більш сучасні широкосмугові. У резонансних ДД первинна фільтрація спектра сигналу здійснюється всередині датчика і залежить від його конструкції, тому для різних типів двигунів застосовують різні датчики, що відрізняються резонансною частотою. Широкосмугові датчики, як випливає з їх назви, мають рівну характеристику в діапазоні детонаційних шумів, а фільтрація сигналу здійснюється в ЕБУ. Нині резонансні ДД не встановлюються серійно.

Регулятор тиску палива

Регулятор тиску палива (РТП) служить для регулювання тиску палива в рампі в залежності від навантаження та режиму роботи двигуна. РТ розташований на рампі форсунок і для своєї роботи використовує розрядження в ресивері. Існує декілька різновидів РТ. Регулятор являє собою мембранний перепускний клапан. перепад тиску (стосовно тиску у впускній трубі) на форсунках. збільшення навантаження на двигун (при зростанні тиску у впускному трубопроводі) регулятор збільшує тиск палива в паливній рампі, при зменшенні навантаження – регулятор зменшує тиск палива (насправді тиск змінюється тільки щодо атмосфери, тиск щодо розпилювача форсунки, навпаки, постійно). тиску в паливній рампі пружина регулятора тиску притискає діафрагму і клапан до сидла клапана, в результаті чого злив палива в бензобак припиняється і створюються умови для збільшення тиску на вході. Коли тиск палива перевищить зусилля пружини регулятора тиску, клапан відкривається для скидання надлишку палива в лінію зливу

1.2. Вибір конструкції системи управління двигуном

Детонаційне згоряння

В двигунах внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням при певних умовах можуть виникнути аномальні "дзвінки" процеси згоряння, які обмежують підвищення потужності і коефіцієнта корисної дії. Цей небажаний процес згоряння називається детонацією і є наслідком самозаймання ще неохопленої полум'ям свіжої суміші. обумовлюють підвищення тиску і температури, які викликають самозаймання газів, що залишилися (що ще не згоріла суміші).

При цьому швидкість поширення полум'я може бути вищою за 2000 м/сек. тоді як швидкість нормального згоряння становить близько 30 м/сек. При цьому ударному згорянні в газах, що залишилися, створюється високий тиск. Його хвиля при поширенні тисне на стіни камери згоряння. При тривалій детонації підвищений тиск та термічне навантаження можуть призвести до механічних пошкоджень прокладання головки циліндрів, поршня та головки у зоні клапанів. Характерні коливання детонаційного згоряння реєструються датчиками, перетворюються на електричні сигнали і передаються в систему Motronic [11] (рис. 1.7 і 1.8).

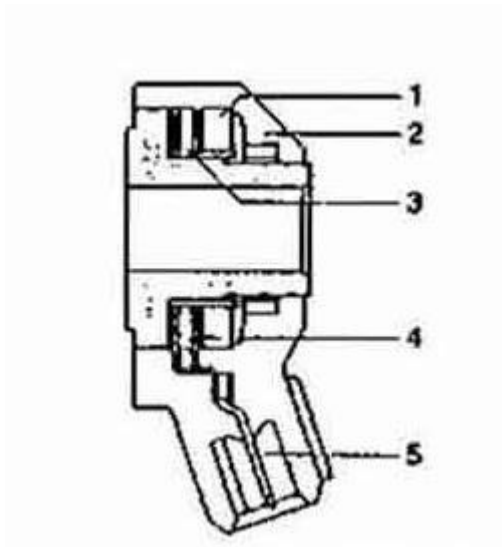


Рис.1.7 - Датчик детонації: 1 - сейсмічна маса, 2 - маски заливки, 3 - п'єзокераміка, 4 - контакт, 5 - штекер.

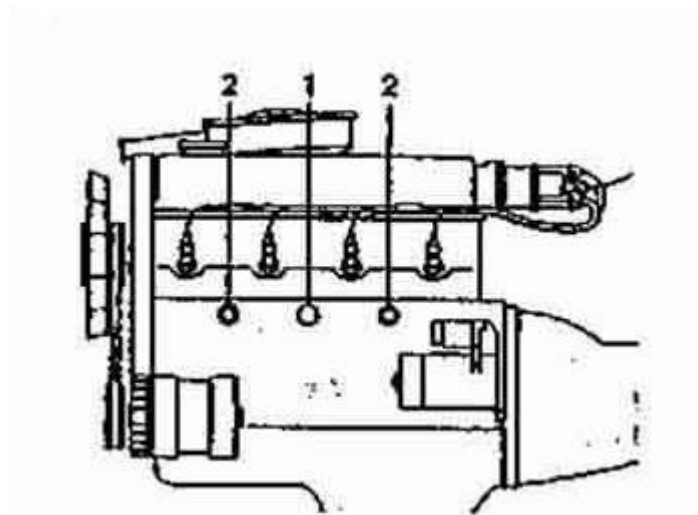
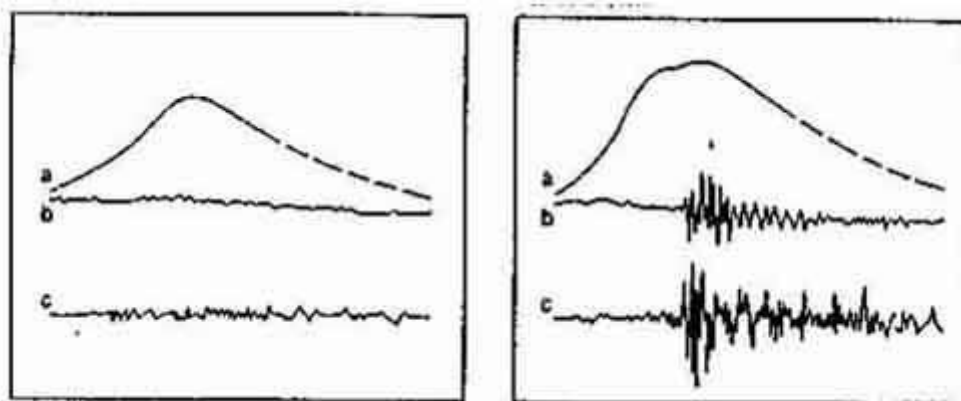


Рис. 1.8 - Сприятливе встановлення датчика детонації:

1 - датчик встановлений між другим і третім циліндрами; 2 - за наявності двох датчиків вони встановлені між двома циліндровими групами

Необхідно ретельно визначити кількість детонаційних датчиків та їх розташування, щоб гарантувати надійне визначення детонації для всіх циліндрів та робочих режимів двигуна, особливо при високих оборотах та навантаженнях. Зазвичай 4-циліндрові рядні двигуни оснащені одним датчиком детонації, 6-циліндрові двома, 8- та 12- циліндрові двома і більше (рис 1.9)



без детонації

з детонацією

Рис. 1.9 - Сигнал датчика детонації. Датчик дає сигнал (с), який відповідає тиску (а) у циліндрі. Фільтрований сигнал тиску (b)

Детонаційне регулювання

Електронне управління моментом запалення дає можливість дуже точно керувати кутом випередження запалення залежно від частоти обертання, навантаження та температури. Незважаючи на це, необхідний надійний запас до межі детонації. Це потрібно у зв'язку з тим, щоб і у разі схильності до детонації, маючи на увазі допуски та старіння двигуна, умови навколишнього середовища та якість палива, жоден циліндр не досягав би або не йшов би за межу детонації. Вибір параметрів двигуна, виходячи з цих міркувань, веде до зниженого ступеня стиснення, пізніх моментів запалення і тим самим погіршення витрати палива і крутного моменту. Ці недоліки можна усунути за допомогою детонаційного регулювання. При цьому, як показує досвід, досягається підвищення ступеня стиснення двигуна, а також суттєве покращення витрати пального та моменту, що крутить. Попередня установка моменту запалення повинна тепер підбиратися не за найнесприятливішими детонаційними факторами, а навпаки за найсприятливішими (наприклад, ступінь стиснення двигуна за нижньою допустимою межею, краща якість палива, не схильний до детонації циліндр). Тепер кожен циліндр двигуна може протягом усього терміну служби працювати майже на всіх робочих режимах біля своєї межі детонації, а тим самим з оптимальним коефіцієнтом корисної дії. Причиною для вибору кута випередження запалення є надійне визначення детонації починаючи з її певної інтенсивності кожному за окремого циліндра у всьому діапазоні режимів двигуна. Для розпізнавання детонації проводиться вимірювання характерних для неї коливань одним або декількома, встановленими в придатних для цього місцях двигуна, приймачами звукових коливань у твердих тілах, датчиками детонації, які перетворюють детонацію на електронні сигнали і передають їх в блок Motronic для подальшої обробки. Там виконується відповідний алгоритмічний розрахунок для розпізнавання детонації в кожному циліндрі та для кожного згоряння. Зареєстроване детонаційне згоряння у відповідного циліндра призведе до зміщення моменту запалення у бік „пізніше” на запрограмовану величину. Якщо

детонації більше немає, відбувається зворотнє ступінчасте зміщення моменту запалення у бік „раннє” до величини попереднього налаштування. Алгоритм розпізнавання та регулювання детонації узгоджуються таким чином, щоб не виникла руйнівна для двигун детонація[12] (рис 1.10).



Рис. 1.10 - Алгоритм розпізнавання та регулювання детонації

Адаптація

На реальних робочих режимах двигуна окремих циліндрів створюються різні межі детонації, а цим і різні моменти запалювання. Для адаптації величин попереднього налаштування моменту запалення на відповідну межу детонації проводиться запам'ятовування зміщення моменту запалення індивідуально кожному за циліндра залежно від робочої точки.

Це запам'ятовування проводиться в табличних характеристиках по навантаженню і частоті обертання в ОЗП, що не руйнується. Завдяки цьому двигун може працювати і при швидкому зміні навантаження і частоти обертання в кожній робочій точці з оптимальним коефіцієнтом корисної дії і запобіганням чутного детонаційного згоряння. Можливе навіть використання палива з низькою

детонаційною стійкістю. Зазвичай калібрування має на увазі використання бензину марки „Супер" Допускається і робота на бензині „Нормаль"[13,14].

Детонаційне регулювання у турбодвигунів

У двигунів з турбонаддувом від вихлопних газів комбінація регулювання тиску наддуву та детонації має особливу перевагу.

При виникненні детонації проводиться спочатку зміщення моменту запалення у бік „пізніше" і тільки при значному перевищенні порога зсуву запалення, що спізнюється, який визначається температурою відпрацьованих газів, проводиться зниження тиску наддуву, як наступний захід щодо зниження детонації. Таким чином, турбодвигун може працювати з допустимою температурою відпрацьованих газів з оптимальним коефіцієнтом корисної дії на порозі детонації.

Висновки до розділу

Першому розділі на основі літературного огляду та даних з Інтернет сайтів проведено аналіз сучасного стану мехатронного управління двигунами внутрішнього згоряння, а також зарубіжні дослідження з мехатронного управління двигуном внутрішнього згоряння. Виходячи з аналізу, було обрано конструкцію мехатронної системи управління двигуном внутрішнього згоряння та поставлено цілі та завдання дослідження.

Метою дослідження є: підвищення економічних та екологічних показників автомобільних двигунів при оптимальному КВЗ, а також підвищення потужності двигунів внутрішнього згоряння при КВЗ.

Завданнями роботи є: розробка даного типу КВЗ на основі прототипів, а також його реалізація на двигуні внутрішнього згоряння та управління ним за допомогою мехатронної системи управління.

Після встановлення цієї системи здійснення зняття характеристик та показників двигуна внутрішнього згоряння з цим типом КВЗ та зіставлення цих даних з даними двигунів внутрішнього згоряння із звичайним типом КВЗ.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДВИГУНОМ

2.1. Методика дослідження

У існуючій і літературі[15-21], що видається, по ДВЗ приділяється достатня увага опису установок, приладів, записуючої апаратури і систем автоматизації вимірювань, що застосовуються при випробуванні двигунів і його систем. З цієї причини найбільш доцільно зосередити увагу лише на видах випробувань, їх змістів і, нарешті, на найважливішому практичному питанні – вимірі величин, характерних для бензинових двигунів, та методах їх обробки.

Стендові випробування автомобілів, що використовуються для стаціонарних та пересувних установок, повинні проводитись відповідно до стандарту. Спеціальні випробувальні станції та окремі динамометричні стенди, що служать для цих цілей, призначаються перевірки та налагодження цих двигунів та їх систем, встановлення відповідності їх заданим характеристикам, чіп-тюнінгу.

Випробування за своїм призначенням поділяють на випробування двигунів серійного виробництва, експериментальні та дослідні випробування дослідного виробництва та випробування науково-дослідного характеру. Призначення цих випробувань зводиться до наступних основних завдань: перевірка якості складання двигуна та його окремих систем, агрегатів, припрацювання поверхонь тертя для збільшення зносостійкості та моторесурсу та відповідності технічним умовам на постачання параметрів та характеристик двигуна. Експериментальні та дослідницькі випробування зазвичай пов'язані з дослідним виробництвом або роботою конструкторських бюро та проводяться для перевірки нових чи вдосконалених конструкцій двигунів або автомобілів, їх систем, зокрема системи живлення складальних одиниць чи деталей, а також дослідження робочого процесу та газодинаміки. Зазвичай цього виду роботи завершуються проведенням тривалих досліджень для виявлення відповідності запроектованих характеристик двигуна фактичним.

Випробування науково-дослідного характеру має на меті більш глибоке теоретичне та експериментальне вивчення процесів, що відбуваються в двигунах, агрегатах, системах, пошук нових перспективних напрямів, що забезпечують подальше підвищення їх якості.

Випробування двигунів науково-дослідного характеру, які використовуються в нашому випадку, дуже різноманітні за своїм змістом і спрямовані на більш глибоке вивчення процесів, що відбуваються в двигунах та їх системах. Ці випробування проводяться за спеціально розробленими програмами, в яких зазначається призначення та мета випробувань, умови проведення випробувань із зазначенням вимог до випробувального стенду та його обладнання, вимірювальної апаратури, методики проведення вимірів, необхідної технічної документації, кількості та тривалості етапів, порядок та терміни оглядів та ревізії двигуна та перелік необхідної звітної документації[16].

Автомобільний двигун в умовах експлуатації фактично завжди працює на не усталених режимах. У зв'язку з цим індикаторні та ефективні показники робочого циклу двигуна, аналітичний зв'язок цих показників між собою та характер їх зміни на відміну від показників на встановлених режимах матимуть інші закономірності та потребують інших методів якісної та кількісної їх оцінки. Режим, що не встановився, може включати одну або всі фази руху: розгін, уповільнення, чергування розгону з накатом, гальмування, пуск двигуна і т.д. Перелічені фази в процесі руху автомобіля можуть викликатися зміною зовнішніх опорів, як наприклад: подолання підйомів, рухом під ухил, переходом від однієї якості дороги до іншого, швидким переходом до великих швидкостей руху або інших причин, що викликаються умовами експлуатації автомобіля.

Методика дослідження основних показників двигунів газобалонних автомобілів у гірських і передгірських умовах враховує, що якісний, а тим паче кількісний аналіз роботи двигуна на цих режимах, може бути виконаний за умови попереднього дослідження двигуна на встановлених режимах при всіх можливих навантаженнях. Причому дослідження одержують достатню достовірність у тому випадку, якщо весь комплекс намічених досліджень здійснюється на одній

експериментальній установці та із застосуванням однієї і тієї ж вимірювальної апаратури.

Залежно від виду випробувань, кількість величин, що підлягають виміру при випробуванні газового двигуна, може змінюватися. У кожному конкретному випадку випробувач, знаючи завдання та мету випробування, договірні зобов'язання, технічні та інші умови, повинен зробити вибір об'єктів спостереження та скласти програму випробувань. У більшості випадків споживача цікавить дані, що характеризують зовнішню роботу двигуна, а саме: потужність, частота обертання, питомі витрати палива та олії, стійкість, надійність пуску, температурні режими та ін. залежно від типу палива, що використовується [16,18]

2.2. Проектування та виготовлення мехатронної системи управління двигуном «DAEWOO LANOS»

Управління випередженням запалювання та впливу системи запалення на робочий процес та показники двигуна.

Сучасним мехатронним системам запалення у поєднанні з мікропроцесорним управлінням доступні принципово нові можливості здійснення різних корекцій параметрів робочого процесу двигуна. На відміну від жорстко обмежених корекцій, реалізованих механічними системами, тут є практично невичерпні можливості реалізації максимально гнучких, адаптивних управлінь[17].

Необхідність корекції з кута випередження запалення (КВЗ) виникає у ряді характерних випадків, наприклад на режимі пуску, при прогріванні двигуна і нейтралізатора, вирівнюванні роботи циліндрів, виникненні детонації, гасіння коливань у трансмісії, при включенні рециркуляції, вимкнення ПХХ і т.п. (рис. 2.1).

На режимах розгону відбувається неузгодженість роботи систем живлення, запалення та рециркуляції. З метою забезпечення динамічних показників двигуна

виникає необхідність корекції КВЗ на тлі нестаціонарності надходження повітря, відхилення складу суміші від стехіометрії, зміни октанового числа палива при фракціонуванні у впускному колекторі, збільшення токсичних викидів.

Існує потреба у управлінні КВЗ на динамічних режимах і особливо у початковій фазі розгону. Проте за реалізації пошуку таких управлінь є певні труднощі, пов'язані з відсутністю точної методики, і навіть вимірювальних і технічних засобів такого пошуку. У адаптивних системах управління двигуном процес пошуку оптимального управління може супроводжуватися неоптимальними установками режимних параметрів, що задаються. Обмеження, що накладаються на корекції, не можуть гарантувати на ряді режимів відсутність пропусків згоряння, що призводить до збільшення ймовірності відмови нейтралізатора. Це визначає нерозривний зв'язок питань управління із заходами захисту нейтралізатора.



Рис. 2.1. - Чинники, що викликають необхідність корекції КВЗ

Наведені міркування визначили вибір зазначених вище задач.

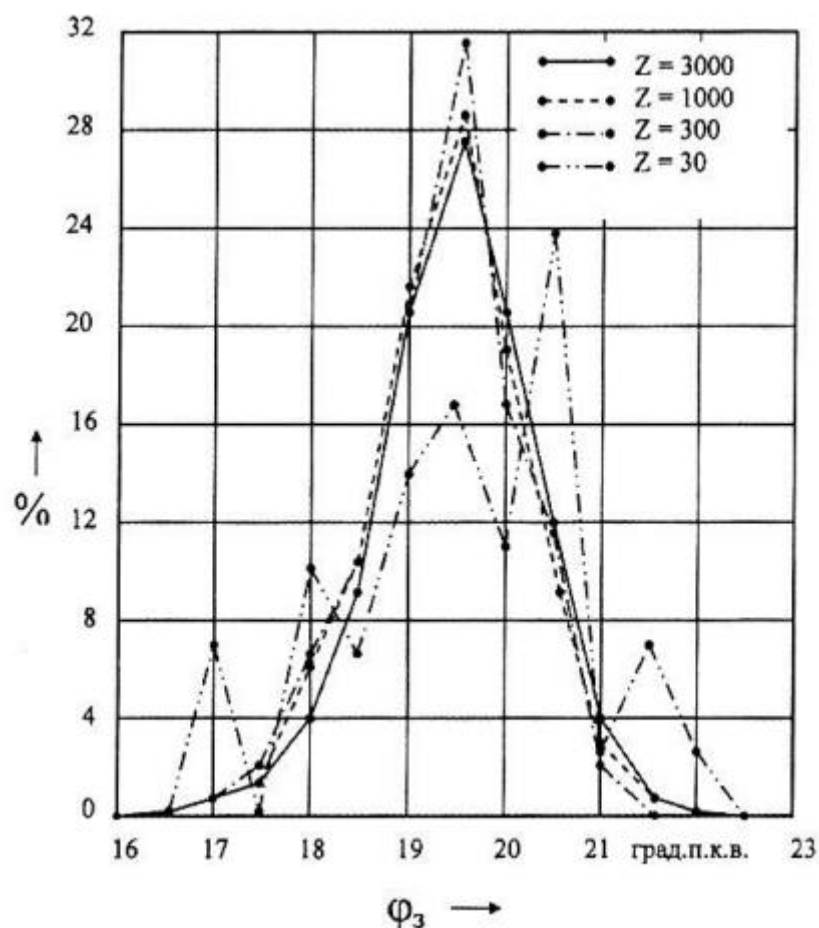


Рис. 2.3 - Міжцикловий асинхронізм КВЗ (Двигун 84 10,5/10,8, контактно-транзисторна система запалювання, зовнішня характеристика $n=1500$ хв-1, перший циліндр): Z – число циклів роботи двигуна

Вона дозволяє керувати КВЗ у кожному робочому циклі у кожному циліндрі двигуна з точністю 0,5 град. положення колінчастого валу (ПКВ) та забезпечує незалежне управління КВЗ для кожного циліндра двигуна. Управління випробувальним стендом здійснюється таким чином, що початок розгону (момент початку руху дросельної заслінки) при незмінному вихідному режимі припадає на ту саму ділянку робочого циклу двигуна (розгін починається з одного і того ж циліндра).

Висновки до розділу

У другому розділі проведено теоретичне дослідження мехатронної системи управління двигуном та його елементів, розроблено методику дослідження, та спроектовано систему мехатронного управління та елементи управління двигуном внутрішнього згоряння, тобто керований КВЗ.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДВИГУНОМ

3.1. Об'єкт випробувань

Досвід експлуатації бензинових автомобілів переобладнаних для роботи на зрідженому газі вказує на те, що необхідно провести глибокі дослідження з метою підвищення їхньої ефективності.

Випробування двигунів може бути проведено, як у реальних умовах так і на лабораторних динамометричних стендах з імітацією їздового циклу. Слід зазначити, що випробування було проведено на динамометричному стенді, тобто у лабораторних умовах з імітацією різних умов. При цьому підтримувалися постійними в основному: температура повітря на впуску та випуску, частота обертання колінчастого валу, подача повітря або подача палива. Випробування двигунів в реальних умовах без імітації параметрів, що впливають на роботу двигуна, є складним, але актуальним завданням і вирішення її дозволить визначити основні показники двигуна на різних режимах його роботи. При цьому з'являється можливість оцінки параметрів двигуна при одночасному впливі зазначених факторів.

Існуючий стандарти призначені для проведення випробувань автомобілів у лабораторних умовах, і вони не відповідають вимогам експлуатаційних випробувань автомобілів у реальних умовах. Це вимагає відповідно змін в окремих частинах цих стандартів, а також доповнень до них.

Враховуючи вищевикладене і з урахуванням складнощів, що виникли при проведенні експлуатаційних випробувань двигунів в цих умовах необхідним вважається включити в методику випробування два режими роботи двигуна (усталені і неусталені), які повністю характеризують зміну параметрів двигуна в експлуатаційних умовах при русі автомобіля на різних ділянках доріг. Випробування автомобіля на усталеному режимі роботи, необхідно провести тільки на рівнинній ділянці дороги, який характеризується одноманітністю профілю, близьким до горизонтального, з незначними поздовжніми ухилами,

тому що на інших ділянках дороги неможлива підтримка певної частоти обертання колінчастого валу, тобто крутного моменту двигуна.

Згідно з методикою експлуатаційних випробувань бензинового автомобіля, переобладнаного для роботи на зрідженому газі була розроблена методика для визначення параметрів роботи двигуна під час руху автомобіля.

Як об'єкти досліджень у роботі прийнято двигуни бензинових автомобілів переобладнаних для роботи на зрідженому газі DAEWOO LANOSa. У таблиці 3.1 наведено технічні дані двигунів цих автомобілів.

При випробуванні бензинових двигунів крім вимірювання величин, обов'язкових для будь-якого двигуна внутрішнього згорання, проводиться вимірювання даних, пов'язаних зі специфікою прийнятого бензинового палива, і здійснюється обробка експериментальних матеріалів.

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики автомобілів DAEWOO LANOS[14]

Параметр	Автомобіль з двигуном A15SMS	Автомобіль з двигуном A16DMS
Максимальна швидкість, км/год	163	185
Час розгону автомобіля з місця з перемиканням передач до швидкості 100 км/год	12,5	11,0
Витрата палива у змішаному циклі, л/100км	7,0	8,1
Двигун		
Модель	A15SMS(SONC)	A16DMS(DONC)
Тип	Чотирьохтактний, бензиновий, з одним розподільчим валом	Чотирьохтактний, бензиновий, з двома розподільчими валами
Кількість, розташування циліндрів	Чотири, вертикально у ряд	
Порядок роботи циліндрів	1-3-4-2	
Діаметр циліндра та хід поршня, мм	76,5 x 81,5	

Робочий об'єм, см ³	1498	1598
Ступінь стиснення	8,6	9,5
Максимальна потужність, кВт(к.с.)	55(75)	79,4(108)
Частота обертання колінчастого вала, яка відповідає максимальній потужності, хв ⁻¹	5400	5800
Максимальний крутний момент, Н*м	123	130
Частота обертання колінчастого вала, яка відповідає максимальному крутному моменту, хв ⁻¹	3200-3400	3200

Об'єкт дослідження, а саме двигун автомобіля DAEWOO LANOS представлено на рис. 3.1.

Не маючи можливості торкнутися всіх питань, пов'язаних з випробуванням двигуна, зупинимося на наступних з них: визначення витрати палива, коефіцієнта надлишку повітря, середньої годинної витрати повітря і крутного моменту, при різних методах КВЗ.



Рис.3.1 - Двигун автомобіля DAEWOO LANOS (об'єкт дослідження)

3.2. Результати експериментальних досліджень

Розглядаючи питання розробки двох методик визначення оптимального управління КВЗ на режимах розгону під час використання емпіричного методу розв'язання задачі динамічного програмування в умовах відсутності моделі об'єкта та їх практичної реалізації.

Перша методика пошуку оптимального управління КВЗ на режимах розгону передбачає розв'язання задачі динамічного програмування шляхом послідовного підбору значень оптимальних кутів запалювання з початку розгону залежно кількості циклів роботи двигуна[21,22].

Пропонується на початку проводити знаходження окремих інтервалів послідовних циклів постійних за значенням приблизно оптимальних КВЗ (ПОКВЗ) (рис. 3.2).

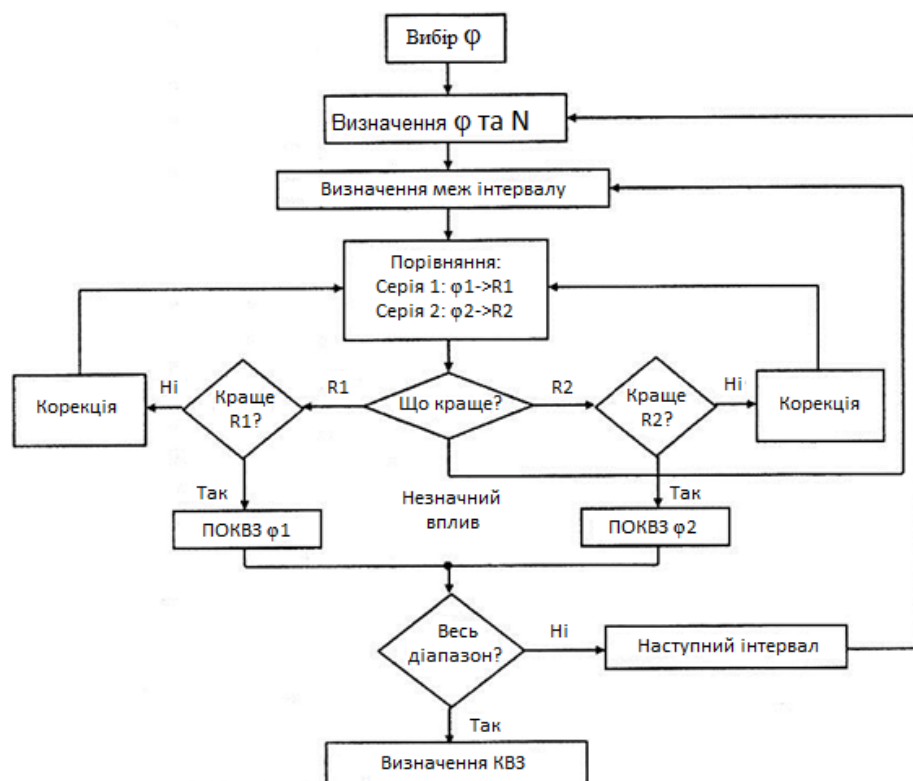


Рис. 3.2. - Блок-схема алгоритму пошуку оптимального управління

Також було показано можливість застосування методики для вирішення завдання пошуку оптимального управління запаленням по циліндрам. Виявлені відмінності характеристик оптимального управління пов'язані з особливостями робочих процесів в окремих циліндрах двигуна (рис. 3.3).

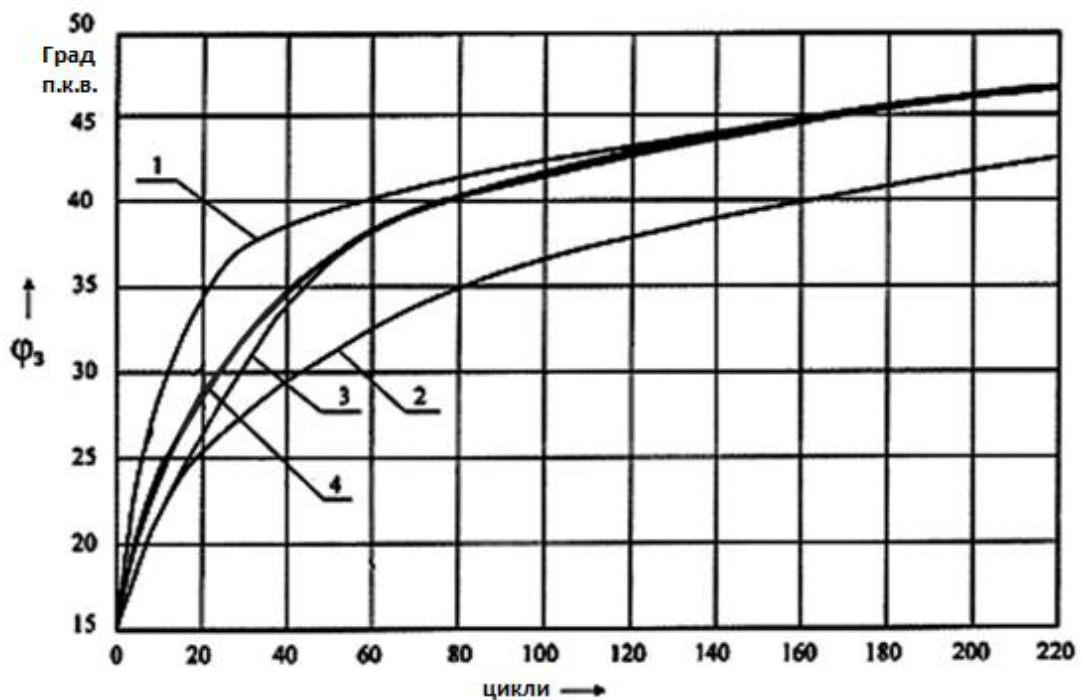


Рис. 3.3 - Характеристики оптимального управління запаленням по циліндрах для двигуна DAEWOO LANOS: 1 ...4 – циліндри

Друга методика пошуку оптимальних управлінь КВЗ на режимах розгону передбачає вирішення задачі динамічного програмування шляхом використання симплексного методу планування експерименту.

Як цільову функцію приймається час розгону автомобіля до заданої швидкості. Координати вершин симплексу визначають характеристику управління КВЗ у розгоні. Оптимальна розмірність симплексу знаходиться практичним або розрахунковим шляхом використання моделі об'єкта.

Як координати вершин симплекса L_j пропонується вважати значення КВЗ у точках N_j , що лежать на середині окремих ділянок розгону (рис. 3.4).

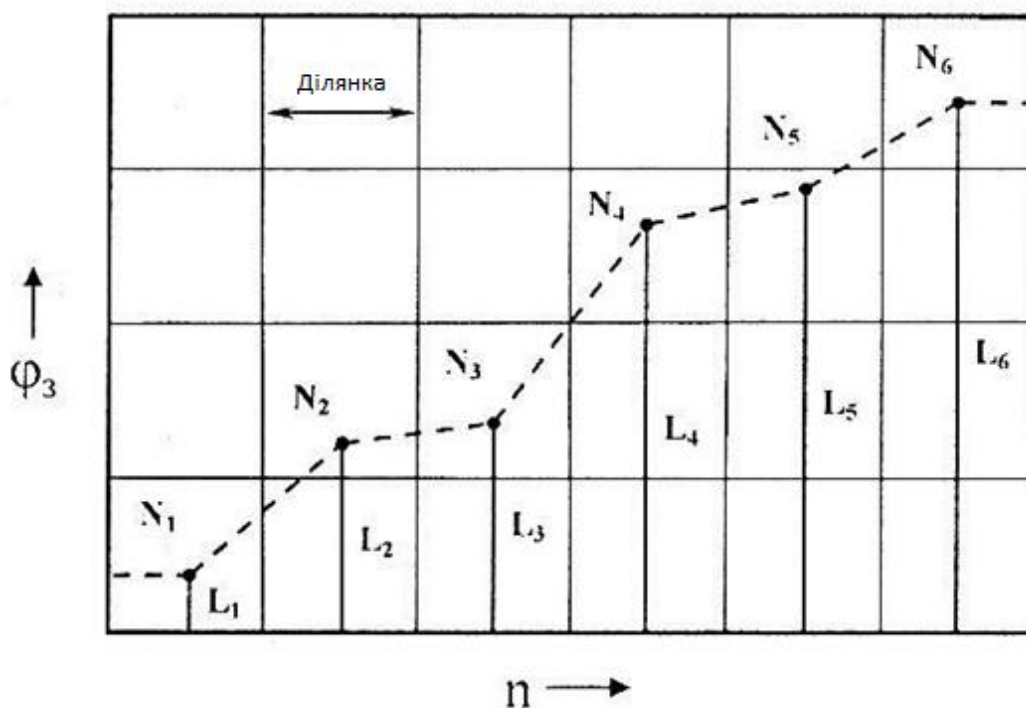


Рис. 3.4 - Характеристика управління KBЗ у розгоні при методі пошуку

При цьому розмірність симплексу визначається кількістю ділянок, на які розбито весь розгін.

Математична модель двигуна, яка описується залежностями:

$$\begin{aligned} M_k &= f(\alpha, n, \varphi_3); \\ \varphi_{\text{опт}} &= f(\alpha, n); \\ a &= f(n) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Цільовою функцією в даному випадку є інтегральний показник розгону - середній крутний момент.

На рис. 3.5 представлені результати пошуку оптимального управління запалюванням у початковій фазі розгону при використанні 3-, 5- та 8-мірного симплексу за умови однакової збіжності та однакового кроку пошуку.

Якість одержуваного рішення оцінювалася ступенем наближення до розрахункової залежності оптимальних KBЗ, отриманих за моделлю (суцільна крива на рис. 3.5).

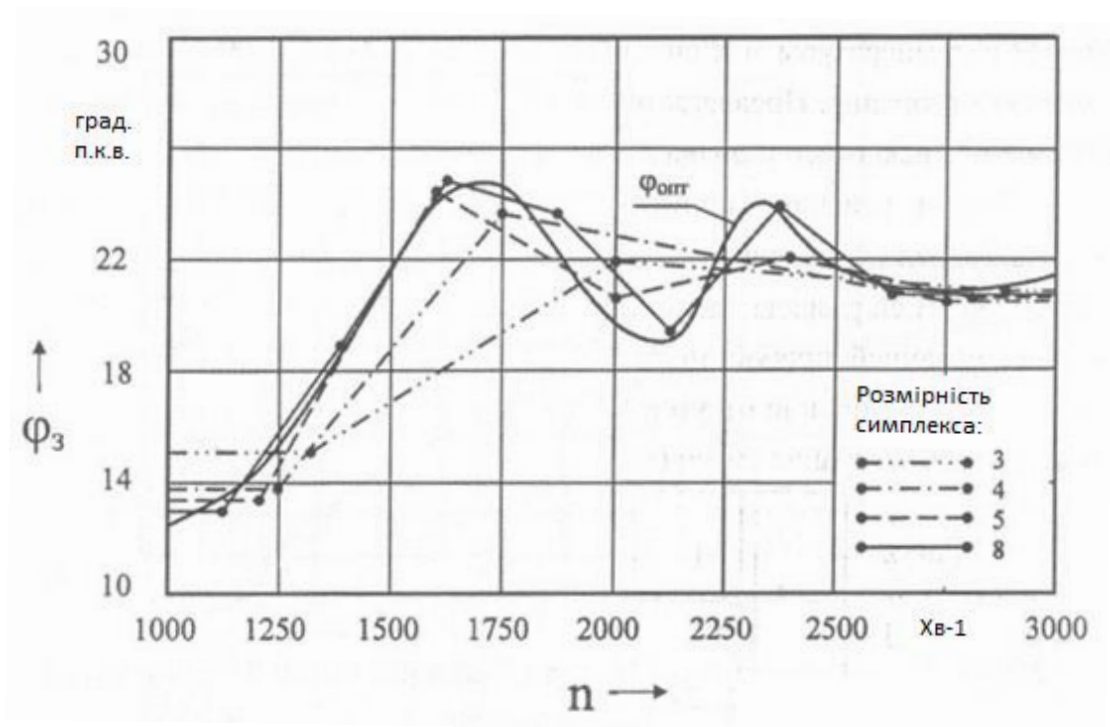


Рис. 3.5 - Результати пошуку характеристики оптимального управління KBЗ у початковій фазі граничного розгону двигуна DAEWOO LANOS

Кількість ітерацій, які вимагалися для визначення KBЗ при 8-мірному симплексі, лежало не більше 27 при заданні координат початкового симплекса, що до 8 град.п.к.в.

Встановлено, що розроблена процедура симплексного пошуку оптимальних KBЗ у 2,5 рази знижує трудомісткість пошуку в порівнянні з першою методикою і може бути рекомендована для практичного пошуку характеристик оптимального управління KBЗ при розгоні.

Ідея запропонованого способу діагностування пропусків згоряння ґрунтується на законі Пашена, відповідно до якого величина пробивної напруги на свічці запалювання U_{np} залежить від іскрового проміжку L , тиску в циліндрі P і температури середовища T :

$$U_{np} = f\left(\frac{LP}{T}\right) \quad (3.2)$$

Спосіб діагностування ґрунтується на прямій залежності тиску та температури в циліндрі двигуна. від наявності або відсутності процесу згоряння. Пропонується використання додаткового іскрового діагностичного розряду на такті випуску.

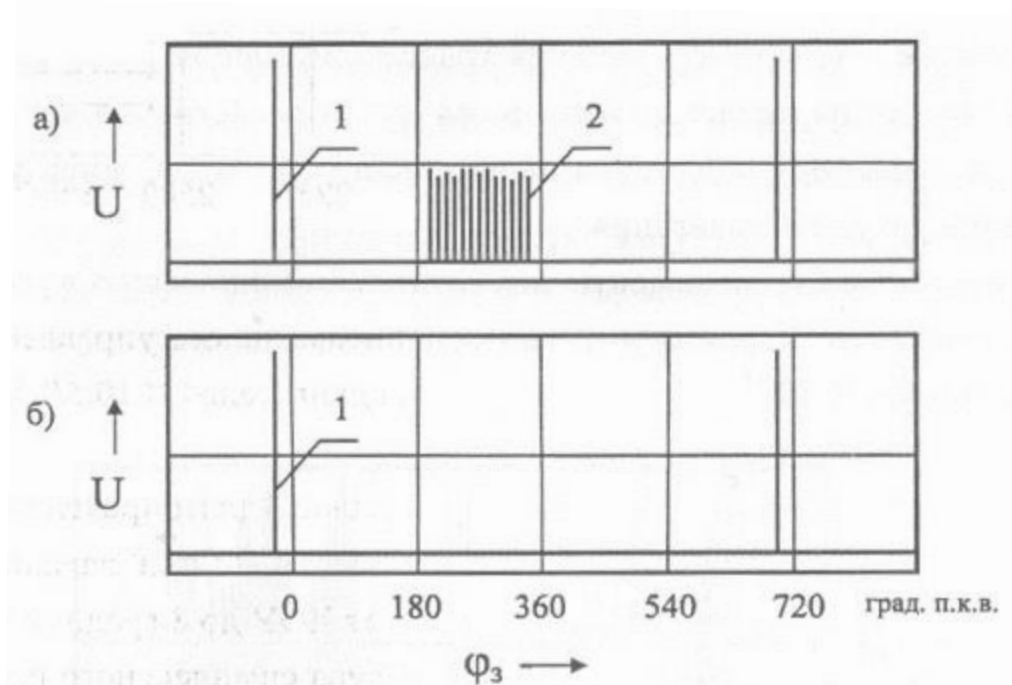


Рис. 3.6 - Амплітуди пробивної напруги на свічки запалювання:

а - згоряння є; б – пропуск згоряння;

1 - запалюючий імпульс; 2 - контрольні імпульси

Завдання вирішується застосуванням спеціальної системи запалювання, що здійснює подачу в обраний циліндр серії контрольних іскор з малою енергією розряду додатково до основної іскри, що підпалює, і забезпечує пробій між електродами свічки у разі попереднього згоряння або відсутності пробією між електродами свічки в разі пропуску згоряння суміші (рис. 3.6).

Проведені на двигуні випробування показали, що в усьому полі режимів роботи двигуна від холостого ходу до максимальної потужності за наявності горіння робочої суміші спостерігається стійка наявність імпульсів від контрольних іскрових розрядів, що знаходиться в точній відповідності до закону Пашена.

У всьому швидкісному та навантажувальному діапазоні роботи двигуна зразок надійно реєстрував пропуски згоряння аж до одиночних, що моделюються відключенням подачі палива.

Недолік методу діагностики по пробивній напрузі додаткового іскрового розряду на такті випуску полягає в необхідності спеціального реєструючого датчика для кожного циліндра двигуна. Разом з тим, через наявність трансформаторного зв'язку в обмотках котушки запалювання є можливим реєстрації контрольних пробіїв за характером зміни напруги розрядного процесу в первинному ланцюзі котушки запалювання.

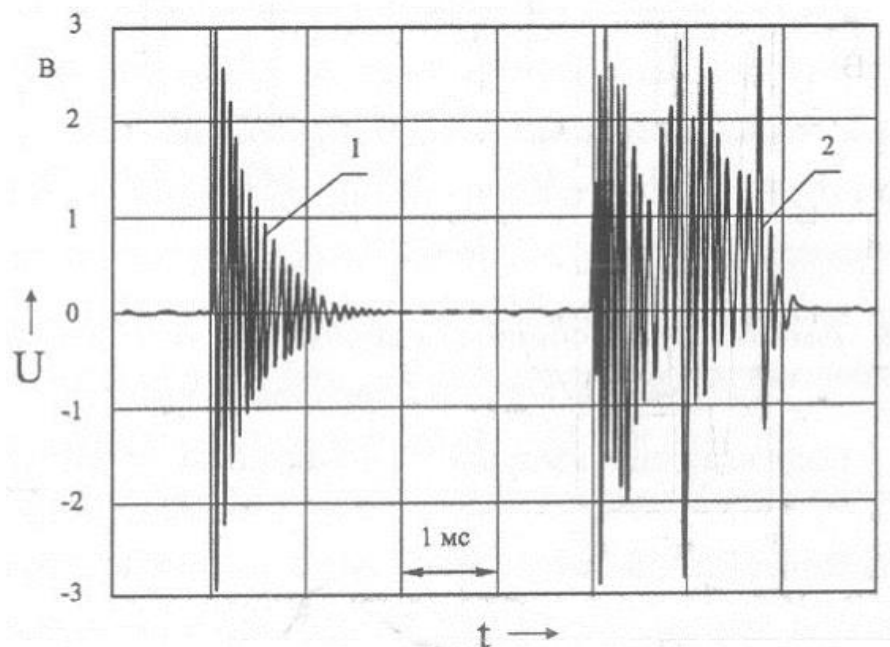


Рис. 3.7 – Наявність згоряння:

1 - запалюючий імпульс; 2 - контрольний імпульс

Проведені експерименти показали принципіальну важливу можливість такої діагностики. Характерний вид осцилограм розрядних процесів наведено на рис. 3.7, 3.8.

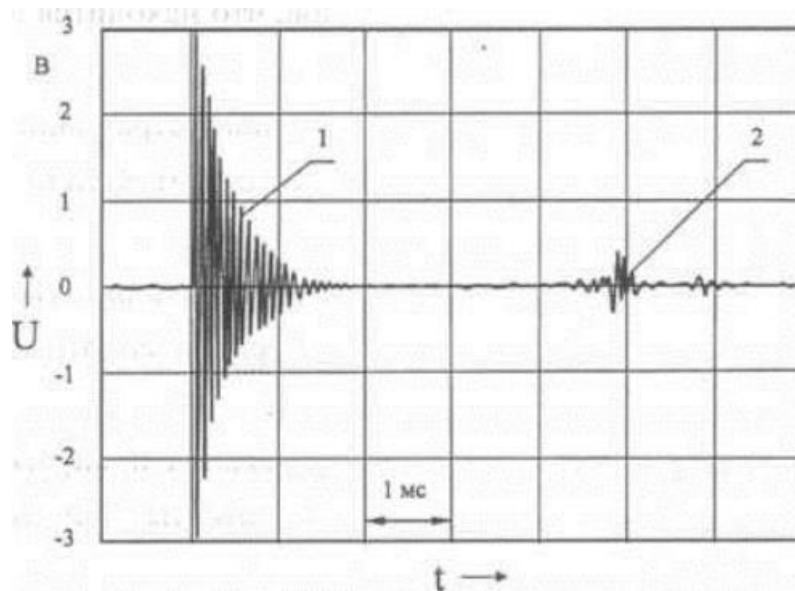


Рис. 3.8 - Відсутність згоряння:

1 - запалюючий імпульс; 2 - контрольний імпульс

Крім того, проведені вимірювання на двигуні Ланоса з багатоімпульсною системою запалювання, показали, що пропуски згоряння помітно змінюють амплітуду напруги коливального процесу на первинній обмотці котушки запалювання, що виникає на стадії активного горіння в паузі між імпульсами(рис. 3.9).

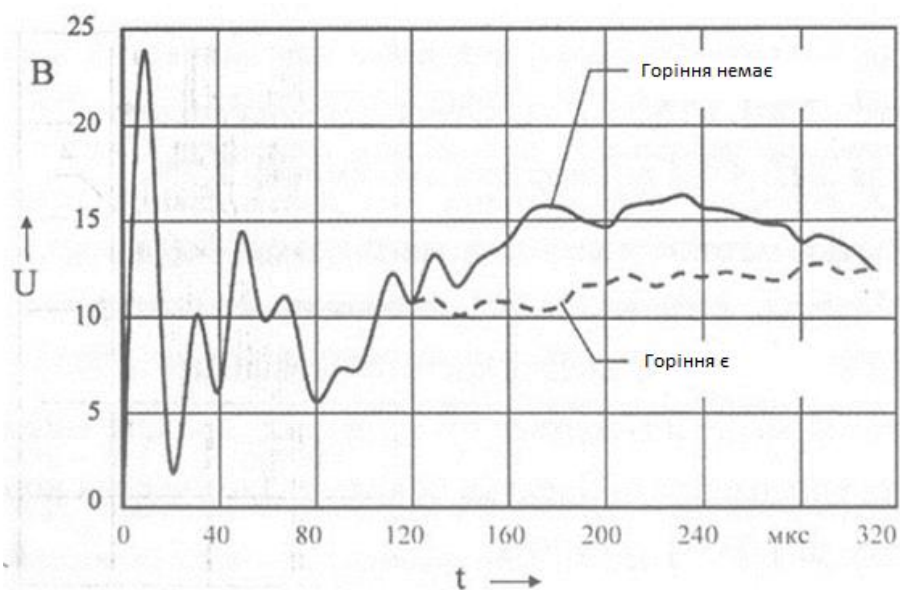


Рис. 3.9 - Процес розряду в первинному ланцюзі котушки багатоімпульсної системи запалення на стадії горіння

Це надає можливість діагностування пропусків згоряння без застосування будь-яких додаткових зовнішніх датчиків.

3.3. Аналіз експериментальних даних

Обробка результатів випробувань

Нами було обрано відомий метод статистичної обробки матеріалів.

Середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.3)$$

де,

x_i - величина виміру (крутний момент, витрата газового палива, витрата повітря);

$\bar{x}$ - середня величина результатів вимірів;

n - кількість вимірювань.

Дисперсія:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (3.4)$$

Середня квадратична помилка результату виміру або стандарт окремого виміру визначається:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.5)$$

Середня квадратична помилка зведеного результату вимірювань або стандарт арифметичної середньої визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.6)$$

Показник точності:

$$\frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} * 100\% \quad (3.7)$$

Проведену вище оцінку похибки вимірювань також можна перевірити так:

Фактичне значення вимірювань:

$$x_i = x \cdot 100/n \quad (3.8)$$

Оцінка похибки вимірювання за достовірності 95% розраховується:

$$\Delta = (k \cdot \sigma \cdot 100) / (\bar{x}_i \sqrt{n}), \% \quad (3.9)$$

де n - кількість вимірів;

k - коефіцієнт, що залежить від кількості вимірювань (при N = 10 і більше k = 0,73)

σ- середньоквадратичне відхилення

Якщо після 10 вимірів оцінка похибки становить більше 5%, то випробування слід провести ще раз.

Довірчі кордону для середнього, тобто межі довірчого визначаються:

$$I_{\beta} = [(\bar{x} - \varepsilon_{\beta}); (\bar{x} + \varepsilon_{\beta})] \quad (3.10)$$

ε_{β} – помилка, що виникає при заміні математичного очікування генеральної сукупності на середню вибірку, за заданого рівня довірчої ймовірності β.

Довірча ймовірність в практиці розрахунків приймається рівною 95%.

Тоді,

$$\varepsilon_{\beta} = \pm t_{\beta} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.11)$$

де,

t_{β} – величина, що визначається для даних β та n .

При $\beta = 95, n = 10, t_{\beta} = 2,14$

Будь-який вимір внаслідок дії низки причин супроводжується інструментальними помилками, особистими або помилками середовища. Точність вимірювань залежить від методів вимірювань, прийнятого обладнання та вимірювальної апаратури. Однак зайві вимоги до точності вимірювань при знятті різних характеристик значно ускладнюють випробувальну установку та її вартість. Недооцінка цих вимог, особливо при експериментальних і дослідницьких роботах, може призвести до помилкових висновків і неправильних висновків при оцінці остаточних результатів.

3.4. Економічні показники

Метою розрахунку економічної ефективності є висування основних підходів до розрахунку показників, що характеризують ефективність науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт виконаних у рамках магістерської роботи, включаючи визначення переліку показників, областей допустимих значень та рекомендацій щодо інтерпретації показників у дорожньо-транспортній сфері. розрахунків та обґрунтувань економічної ефективності інвестицій з метою підвищення ефективності транспортного виробництва при розробці інвестиційних проектів та аналізі їх виконання, під час проектування будівництва та впровадження нової техніки, технології, розроблення та обґрунтування організаційно-економічних та організаційно-технічних заходів щодо розвитку та вдосконалення виробництва на діючих підприємствах галузі.

Визначення ефективності має на меті вибір та економічне обґрунтування найкращих варіантів створення нових, розширення та реконструкції діючих підприємств та споруд та їх комплексів, розробки нових технологічних процесів, обладнання, машин, матеріалів та інших видів техніки, що забезпечують розвиток галузі.

Ефект наукових досліджень та розробок проявляється внаслідок їх взаємодії з факторами економічного зростання – капітальними вкладеннями, робочою силою, освітою, організацією інформаційних служб та ін.

Поняття "економічний ефект" і "економічна ефективність" належать до найважливіших економічних категорій. У повсякденному житті ми часто вживаємо слова "ефект" і "ефективність", ототожнюючи їх відповідно до понять "результат" і "результативність". Ефект та ефективність тісно пов'язані між собою, проте вони мають певні відмінності.

Основними показниками економічної ефективності заходів щодо вдосконалення організаційного, технологічного та технічного нововведення є:

- 1) зростання продуктивності праці;
- 2) річний економічний ефект чи економія наведених витрат.

Виконання економічних розрахунків доцільно проводити у такій послідовності:

Наводяться основні техніко-економічні показники роботи об'єкта (підприємства), котрого розробляється проект.

На основі аналізу результатів діяльності підприємства формулюються пропоновані новації та напрямки очікуваних удосконалень від заходу, що проектується.

Наводяться характеристики та параметри діючих технологій з відображенням цифрових матеріалів.

4. Розраховуються необхідні для впровадження проекту інвестиції, виходячи з діючих на момент впровадження цін на рухомий склад, обладнання, будівельно-монтажні роботи.

5. Розраховуються поточні витрати.

6. Розраховуються фінансові показники проекту.
7. Визначаються показники ефективності інвестицій.

а) розрахунок матеріальних витрат, необхідних за технологією обраного проекту, здійснюється виходячи з проектованої витрати в натуральних одиницях і діючих цін на ці ресурси. До матеріальних ресурсів належать: паливно-мастильні матеріали, автошини, запасні частини, фарби та інші матеріали, електроенергія, водопостачання тощо.

Екологічний підхід до цієї роботи такий, що коли автомобіль витрачає менше палива на холостому ходу, то й викид шкідливих речовин у навколишнє середовище зменшиться у багато разів.

1 літр зрідженого газу коштує 35 грн.

$$Z_{mi} = C_{mi} * K_i \text{ (грн.)} \quad (3.12)$$

де Z_{mi} – витрати на даний матеріальний ресурс (грн.);

C_{mi} – ціна одиниці матеріального ресурсу (грн.);

K_i - потрібна кількість за проектом кожного матеріального ресурсу.

$$Z_m = \sum_i Z_{mi} \quad (3.13)$$

Якщо економія досягається лише по якомусь одному елементу собівартості, то річну економію витрат можна підраховувати лише з цього елементу.

Середній пробіг автомобіля DAEWOO LANOS (таксі) приблизно за рік (L_p) становить приблизно 60000 тисяч кілометрів. Економія за рік розраховується за наступною формулою:

$$E_p = ((S_2 - S_1) * L_p) * A \text{ грн. за рік} \quad (3.14)$$

де E_p - середня річна економія витрат одного автомобіля цієї марки (грн.);

S_1, S_2 - експлуатаційні витрати до та після впровадження на 1 км пробігу;

А - кількість автомобілів даної марки, що експлуатуються, як таксі.

При визначенні річної економії від впровадження нової техніки за базу обчислення, тобто за вихідний варіант, з яким здійснюється зіставлення, треба приймати фактичні показники автотранспортних підприємств і при цьому вихідні показники брати з таким самим річним обсягом перевезень, який забезпечується після впровадження нової техніки . Якщо реконструкція автотранспортного підприємства та застосування нової техніки призводять до збільшення річного обсягу перевезень, то до вихідних показників за капітальними витратами мають бути додані додаткові витрати до основних та оборотних фондів, які знадобилися б для доведення річного обсягу перевезень до нового рівня. Відповідно мають бути скориговані показники за собівартістю перевезень.

У випадках поліпшення (підвищення) спочатку прийнятих нормативних показників функціонування об'єкта основних засобів у результаті проведеної добудови, дообладнання, реконструкції чи модернізації можна переглянути термін корисного використання по цьому об'єкту, починаючи з дати завершення добудови, дообладнання, реконструкції або модернізації цього об'єкта.

Протягом терміну корисного використання об'єкта основних засобів нарахування зносу не припиняється, крім випадків у період добудови, дообладнання, реконструкції, модернізації, технічного переозброєння об'єкта за умови його зупинки.

Висновки до розділу

У цьому розділі були проаналізовані різні способи покращення динаміки та економічних показників двигуна внутрішнього згоряння 1,5 літражем автомобіля DAEWOO LANOS, що полягають в зміні КВЗ. А також за отриманими даними було проведено обробку та аналіз отриманих експериментальних даних.

Проведено розрахунок за керуванням КВЗ та розрахунок економічної ефективності даної системи мехатронного управління двигуном внутрішнього згоряння.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз мехатронних систем двигунів.
2. Проведено теоретичне дослідження мехатронної системи управління двигуном та його елементів.
3. Розроблено методику дослідження, та спроектовано обрану систему мехатронного управління та елементи управління двигуном внутрішнього згоряння, тобто керований КВЗ.
4. Резерви удосконалення управління двигуном на режимах розгону безпосередньо пов'язані з питаннями корекції складу суміші та КВЗ. Проведеними дослідженнями показано, що основними факторами, визначальними поліпшення показників двигуна на режимах розгону при мікропроцесорному управлінні запалюванням є застосування динамічних корекцій КВЗ і управління запаленням по циліндрах.
2. Розроблені методики дозволяють здійснювати пошук динамічних корекцій КВЗ в лабораторних умовах. Перша методика базується на послідовному підборі КВЗ для окремих інтервалів розгону. На підставі дослідження рекомендовано краще використання методики симплексного пошуку, що дозволяє знаходити динамічну корекцію КВЗ в 2,5 рази швидше.
5. Знайдена за розробленою методикою динамічна корекція КВЗ для двигуна автомобіля DAEWOO LANOS, що переобладнаний для роботи на зрідженому газі, забезпечує скорочення часу розгону автомобіля до швидкості 100 км/год на 2,7%.
6. За підрахунками на день автомобіль у середньому на холостий хід та на розгін витрачає близько 3,5 літрів газу. Через оптимальні КВЗ - економія становить 20% з 3,5 літрів виходить 0,7 літра. Тобто ми з кожної машини на день заощаджуємо близько 0,7 літра газу, а якщо це число помножити на кількість автомобілів цієї модифікації, що експлуатуються у місті, вийде велика кількість. Це означає велику економію палива.

7. Для відпрацювання методики симплексного пошуку була побудована емпірична модель, що зв'язує потужнісні показники двигуна DAEWOO LANOS зі складом суміші, частотою обертання та КВЗ.

8. Розроблений спосіб діагностування пропусків згоряння робочої суміші в циліндрах двигуна показав свою ефективність і дозволяє реєструвати пропуски згоряння в кожному робочому циклі двигуна.

9. Дослідження показало, що при використанні розробленого способу принципово можливе діагностування пропусків згоряння в циліндрах двигуна по процесах первинного ланцюга котушки запалювання, у тому числі без застосування будь-яких додаткових зовнішніх датчиків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Загальні принципи діагностування електронних систем управління автомобілів: навч. посіб./ О.Ф. Дашченко, В.Г. Максимов та ін.; за ред. М.Б. Копитчука. О.: Наука і техніка, 2012. – 392 с.
2. Біленко І.І. Система управління автомобілів(навчальний посібник) О.І Біленко; В.П. Пісарев. Харків. 2005.- 363 с.
3. Мигаль В,Д. Мехатронні та телематичні системи автомобіля: навч. посібник. – Х.: Майдан, 2017. – 314 с.
4. Ютт В.С. Електрообладнання автомобілів. – 2000. – 320 с.
5. Мехатронні системи автомобілів і тракторів: підручник / Р. В. Антощенко, О. В. Нанка, А. Т. Лебедєв, В. М. Антощенко, В. М. Кісь, І. В. Галич – Харків: ХНТУСГ, 2020 р. – 219 с.
6. Ткачук В. І. Електромеханотроніка. Підручник — Львів. Видавництво Львівської політехніки - 2006 - 440 с.
7. Мазепа С. С. Куцик А. С. Електрообладнання автомобіля. Навчальний посібник — Львів. Видавництво Львівської політехніки. - 2004. - 168 с.
8. Uwe Kiencke, Lars Nielsen. Automotive Control Systems. For Engine, Driveline, and Vehicle. Second edition Springer-Verlag, 2005 – 512 p.
9. Konrad Reif. Sensoren im Kraftfahrzeug. – Robert Bosch GmbH, 2012 – 165p.
10. Konrad Reif. Automotive Mechatronics. Automotive Networking, Driving Stability Systems, Electronics. – Springer Verlag, 2015 – 525 p.
11. Jörg Dubbert, Beate Müller, Gereon Meyer. Advanced Microsystems for Automotive Applications 2019: Smart Systems for Clean, Safe and Shared Road Vehicles – Springer Cham, 2019 – 196 p.
12. B. T. Fijalkowski. Automotive Mechatronics: Operational and Practical Issues – SpringerVerlag, 2013 – 594 p.
13. Reza N. Jazar. Vehicle Dynamics: Theory and Application – Springer New York, 2008 – 1015 p.
14. https://uk.wikipedia.org/wiki/Daewoo_Lanos (електронний ресурс)

15. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. — 264 с.

16. A Compelling Alternative to the conventional Internal Combustion Engine
URL: <http://www.scuderigroup.com/ourpatents/>

17. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни: Підручник. — К.: Арістей, 2006. — 476 с.

18. 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.

19. Митрофанов О. С. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. / О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін. — Миколаїв : видавець Торубара В.В., 2018. — 152 с.

20. Возній, М.М. Конструкція двигунів внутрішнього згоряння [Текст]: Навчальний посібник / М.М. Возній. Львів: Друкарня ЛВІ НУ «Львівська політехніка», 2004.—171 с.

21. Гащук,П. Автомобільні двигуни. Тепловий та динамічний розрахунок [Текст]: Навчальний посібник/ Гащук П., Миськів Т., Нікипчук С. - Львів:Українські технології, 2006.-144 с.