

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів
внутрішнього згоряння,
установок та технічної
експлуатації

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри
Олексій ГОГОРЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВИСОКООБЕРТОВОГО
ДВИГУНА ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи

Здобувач освіти



Аркадій ПРОСКУРІН

Денис ГОЛОВЧИЦ

Миколаїв 2025

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Машинобудівний навчально-науковий
Кафедра Двигунів внутрішнього згорання, установок та технічної експлуатації
Ступінь Магістр
Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування
(шифр і назва)
Освітня програма Двигуни внутрішнього згорання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Олексій ГОГОРЕНКО

« » 20 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Головціц Денис Леонідович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація режимів роботи високообертового двигуна шляхом вдосконалення системи управління

2. Керівник роботи к.т.н., доц. Проскурін А.Ю.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « » 20 року №

3. Строк подання здобувачем роботи

4. Вихідні дані до роботи Двигун – 4Ч8,75/8,31 (2.0 Duratec Ti-VCT);
паливо – бензин; потужність двигуна – 115 кВт, частота обертання
колінчастого валу – 6500 хв⁻¹

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Особливості застосування двигуна 4Ч8,75/8,31 (2.0 Duratec Ti-VCT) на
автомобільному транспорті; Аналіз сучасних систем управління автомобільних
двигунів; Визначення умов для оптимальних режимів роботи двигуна 4Ч8,75/8,31
(2.0 Duratec Ti-VCT); Забезпечення вимог охорони праці; Економічне обґрунтування

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Загальна схема гібридного транспортного засобу; Схема конструкції двигуна з
системою управління; Схема алгоритму роботи гібридного блока електронного
управління; Основні залежності режимів роботи двигуна; Динаміка змін крутного
моменту двигуна

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

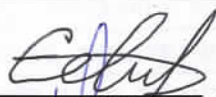
8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оформлення 1 розділу		
2	Оформлення 2 розділу		
3	Оформлення 3 розділу		
4	Оформлення 4 розділу		
5	Оформлення 5 розділу		
6	Оформлення креслень		

Здобувач освіти

Керівник роботи



(підпис)

Денис ГОЛОВЧИЦ

(прізвище та ініціали)

Аркадій ПРОСКУРІН

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення режимів роботи автомобільного двигуна шляхом вдосконалення системи управління. Розглянуто економічне обґрунтування. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 69 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 8 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: атмосферний двигун, легке паливо, форсунка, гібридна система.

The qualification work presents a set of measures to improve the operating modes of an automobile engine by improving the control system. The economic justification was considered. Measures to ensure occupational safety are also provided.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 69 pages of explanatory note. 8 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1.

Key words: atmospheric engine, light fuel, injector, hybrid system.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Особливості застосування двигуна 4Ч8,75/8,31 (2.0 Duratec Ti-VCT) на автомобільному транспорті.....	5
Розділ 2. Аналіз сучасних систем управління автомобільних двигунів.....	13
Розділ 3. Визначення умов для оптимальних режимів роботи двигуна 4Ч8,75/8,31 (2.0 Duratec Ti-VCT).....	34
Розділ 4. Економічне обґрунтування.....	53
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	57
Висновки.....	67
Список використаної літератури.....	69
Додаток А. Загальна схема гібридного транспортного засобу.....	70
Додаток Б. Схема конструкції двигуна з системою управління.....	71
Додаток В. Схема алгоритму роботи гібридного блока електронного управління.....	72
Додаток Г. Основні залежності режимів роботи двигуна.....	73
Додаток Д. Динаміка змін крутного моменту двигуна.....	74

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку автомобільної промисловості вдосконалення системи управління бензиновими двигунами набуває особливої актуальності. Зростання вимог до економічності, екологічної безпеки, динамічних характеристик та надійності транспортних засобів зумовлює необхідність створення більш інтелектуальних, адаптивних і високотехнологічних алгоритмів керування процесами згоряння.

Актуальність удосконалення систем керування також зумовлена поширенням гібридних силових установок та необхідністю ефективної взаємодії бензинового двигуна з електричними компонентами. Для таких систем критично важливо забезпечити точний розподіл навантаження, оптимізацію витрати палива та мінімізацію шкідливих викидів у різних режимах руху.

Мета даної роботи – розробити умови по поліпшенню параметрів роботи двигуна 4С8,75/8,31 (2.0 Duratec Ti-VCT) на різних режимах роботи автомобільного транспортного засобу.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Аналіз сучасних систем управління автомобільних двигунів.
2. Визначення умов для оптимальних режимів роботи двигуна в складі гібридної енергетичної установки транспортного засобу.
3. Оцінка запропонованих рішень, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – режими роботи автомобільного двигуна.

Предмет дослідження – характеристики режимів роботи автомобільного двигуна.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА 4Ч8,75/8,31 (2.0 DURATEC TI-VCT) НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Duratec (табл. 1.1) – це лінійка двигунів, що використовуються компанією Ford of Europe та United States для лінійки бензинових двигунів І3, І4, І5 та V6 легкових автомобілів. Перший двигун Duratec був розроблений спільно Ford та Porsche та представлений як Duratec V6 у Ford Mondeo 1993 року [1].

Таблиця 1.1 – Сімейство двигунів Duratec

Назва	Сімейство	Об'єм	Рік виготовлення	Особливості
Duratec Ti-VCT	Ford Fox engine	998 см ³	2012 – наші дні	DOHC І3
Duratec Ti-VCT	Ford Duratec engine	1084 см ³	2017 – наші дні	DOHC І3
Duratec 8v	Ford Sigma engine (Zetec RoCam)	1297 см ³ 1597 см ³	2000 – 2014	DOHC І4
Duratec SE	Ford Sigma engine	1242 см ³ 1388 см ³ 1596 см ³	2002 – наші дні	DOHC І4
Duratec Ti-VCT	Ford Sigma engine	1499 см ³	2013 – наші дні	DOHC
Duratec Ti-VCT	Ford Sigma engine	1596 см ³	2004 – наші дні	DOHC
Duratec-ST	Ford Zeta engine	1999 см ³	1998 – 2004	DOHC І4
Duratec RS	Volvo Modular engine	2521 см ³	2003 – 2010	Turbocharged DOHC І5
Duratec	Mazda L engine	1798 см ³ 1999 см ³ 2261 см ³ 2488 см ³	2001 – наші дні	DOHC І4
Duratec SCi	Mazda L engine	1798 см ³	2003 – 2007	DOHC GDI І4 Ti-VCT
Duratec-HE Duratec FFV	Mazda L engine	1798 см ³ 1999 см ³	2005 – наші дні	DOHC І4
Duratec-HE Ti-VCT	Mazda L engine	1999 см ³	2010 – наші дні	DOHC GDI І4
Duratec V6	Ford Duratec V6 engine	2544 см ³	1993 – 2007	DOHC V6
Duratec V6	Ford Duratec V6 engine	2967 см ³	2002 – 2007	DOHC V6

Згодом Ford почав називати інші бензинові двигуни, не пов'язані з оригінальним V6, назвою Duratec. Двигуни Ford Zeta, Ford Sigma та Ford Cyclone носять назву Duratec, але в іншому не пов'язані один з одним або з оригінальним Duratec V6 1993 року. Неоднозначне використання назви схоже на використання Ford назви Zetec для попереднього покоління бензинових двигунів, назви Duratorq для дизельних двигунів та EcoBoost для бензинових двигунів з турбонаддувом.

Застосування:

1.0 Duratec Ti-VCT

- Форд Фіеста (шосте покоління)

1.1 Duratec Ti-VCT

- Форд Фіеста (сьоме покоління)

1.25 Duratec/Duratec Ti-VCT

- Форд Фіеста (четверте покоління)
- Форд Фіеста (п'яте покоління)
- Форд Фіеста (шосте покоління)
- Форд Ф'южн (Європа)

1.3 Дюратек

- Форд Фіеста (четверте покоління)
- Форд Фіеста (п'яте покоління)
- Форд Ка

1.4 Duratec/Duratec Ti-VCT

- Форд Фіеста (четверте покоління)
- Форд Фіеста (п'яте покоління)
- Форд Фіеста (шосте покоління)
- Форд Фокус (перше покоління)
- Форд Фокус (друге покоління)
- Форд Ф'южн (Європа)
- Форд Б-МАКС

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1.5 Duratec Ti-VCT

- Форд Фієста (шосте покоління)
- Форд Фокус (четверте покоління)
- Форд Екоспорт

1.6 Duratec SE/Duratec Ti-VCT

- Форд Фієста (четверте покоління)
- Форд Фієста (п'яте покоління)
- Форд Фієста (шосте покоління)
- Форд Фокус (перше покоління)
- Форд Фокус (друге покоління)
- Форд Фокус (третє покоління)
- Форд Ф'южн (Європа)
- Форд Мондео (третє покоління)
- Форд Б-МАКС
- Форд С-МАКС
- Форд СпортКа
- Форд Стріт Ка
- Вольво С30
- Вольво S40
- Вольво V50

1.8 Duratec HE/Duratec SCi/Duratec FFV

- Форд Фокус (перше покоління)
- Форд Фокус (друге покоління)
- Форд С-МАКС
- Форд S-MAX
- Форд Галаксі
- Форд Мондео (друге покоління)
- Форд Транзит Коннект

					<i>КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Мазда 6
- Мазда 5
- Мазда МХ-5
- Вольво С30
- Вольво S40
- Вольво V50

2.0 Duratec HE/Duratec HE Ti-VCT

- Форд Фокус (перше покоління)
- Ford Focus (друге покоління, Європа)
- Катерхем 7
- Ford Focus (друге покоління, Північна Америка)
- Форд Екоспорт Титаніум
- Форд С-МАКС
- Форд S-MAX
- Форд Галаксі
- Форд Мондео (друге покоління)
- Форд Мондео (третє покоління)
- Форд Транзит Коннект
- Mazda Miata - MX5 - Родстер 2006 - 2015 рр
- Мазда 3
- Мазда 5
- Мазда 6
- Мінівен Mazda
- Вольво С30
- Вольво S40
- Вольво V50

2.3 Duratec Ti-VCT

- Ford Focus (друге покоління, Північна Америка)

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Форд S-MAX
- Форд Галаксі
- Форд Мондео (третє покоління)
- Мінівен Mazda
- Мазда 6

2.5 Duratec 5 циліндрів/Duratec Турбо

- Ford Focus (друге покоління, Європа)
- Форд Куга
- Форд S-MAX
- Форд Галаксі
- Форд Мондео (друге покоління)
- Форд Мондео (третє покоління)
- Вольво C30
- Вольво C70
- Вольво S40
- Вольво S60
- Вольво V50
- Вольво V70

2.5 Duratec V6

- Форд Мондео (перше покоління)
- Ford Contour та Mercury Mystique
- Mercury Cougar (восьме покоління)

3.0 Duratec V6

- Форд Мондео (друге покоління)
- Мазда 6
- Форд Файв Хандред
- Форд Фрістайл
- Меркурій Монтего

					<i>КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Форд Таурус
- Форд Ескейп
- Форд Ф'южн
- Меркурій Мілан
- Лінкольн Зефір

Технічні характеристики, проблеми та надійність двигуна 4С8,75/8,31 (2.0 DURATEC TI-VCT)

Історія двигунів цього сімейства розпочалася у 2000 році. Спочатку двигун 2,0L Duratec-HE встановлювався на Ford Mondeo Mk III (2000-2007), потім перекочував на Ford Focus II і Ford Focus C-Max, а потім і на Ford S-Max (2006-2013), Ford Galaxy (2006-2013), Ford Mondeo Mk IV (2007-2014). Його спортивна (атмосферна) модифікація встановлювалася на Ford Fiesta ST (Mk V). Наразі, доповнений системою незалежного управління фазами газорозподілу, він перекочував на Ford Focus Mk III (2011-2019). Має високу надійність, але дуже чутливий до низького рівня масла. Цей двигун є проміжним ступенем при переході до лвигателя сімейства 2,0L Ecoboost.

Двигун 4С8,75/8,31 (рис. 1.1, рис.1.2) має низку особливостей, що впливають на підхід до його обслуговування.

1. Міжсервісний пробіг 20000 км (або 1 рік, залежно від того, що настане раніше).
2. Ланцюговий привід газорозподілу дуже надійний, не вимагаючи обслуговування тривалий час.
3. Привід агрегатів здійснюється двома ременями. Один – основний, поліклиновий ремінь, що натягується роликом-натягувачем. Другий – еластичний ремінь приводу компресора кондиціонера, що одягається на приводні шків за допомогою спеціального інструменту, що постачається в комплекті з оригінальним ременем.

					<i>КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Двигун 4С8,75/8,31 (2.0 DURATEC TI-VCT) був розроблений у співпраці з компанією Mazda. За основу було взято старий Duratec HE 2.0L 145 к.с. (Mazda MZR LF), який оснастили системою зміни фаз газорозподілу і безпосереднім уприскуванням (GDI), підвищили ступінь стиснення з 10.8:1 до 12:1, скасували клапан EGR, тепер рециркуляція відпрацьованих газів здійснюється за допомогою змінного регульованого газорозподілу. Ресурс двигуна Ford Duratec HE Ti-VCT за даними заводу становить 350 тис. км.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд двигуна 4С8,75/8,31

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд двигуна 4C8,75/8,31 в підкапотному просторі автомобіля

Основні характеристики:

Матеріал блоку циліндрів – алюміній

Система живлення – безпосереднє впорскування

Тип – рядний

Кількість циліндрів – 4

Клапанів на циліндр – 4

Хід поршня – 83,1 мм

Діаметр циліндра – 87,5 мм

Ступінь стиснення – 12

Потужність – 115 кВт при 6500 хв⁻¹

Крутний момент – 202 Нм при 4450 хв⁻¹

Екологічні норми – Євро 5

Витрата масла – до 400 г/1000 км

Рекомендований тип масла:

5W-20 з допуском WSS-M2C948-B

5W-30 з допуском WSS-M2C913-C

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Вступ

Сучасна система керування бензиновим двигуном (Engine Management System, EMS) перетворилася з простого електронного блоку запалювання на складний розподілений комплекс, що інтегрує десятки датчиків, акторів та електронних блоків керування (ECU) в єдину мережу. Основне її завдання – забезпечити оптимальний процес згоряння в широкому діапазоні режимів з урахуванням жорстких екологічних норм (Euro 6/7, WLTP, Tier 3, тощо), вимог до паливної економічності, динаміки та комфорту.

Перехід до безперервного електронного керування паливоподачею, запалюванням, фазами газорозподілу, наддувом, системами нейтралізації та діагностики зробив EMS ключовою підсистемою сучасного автомобіля [2].

Загальна характеристика сучасних систем керування бензиновим двигуном

Електронний блок керування двигуном (ECU) – це спеціалізований мікропроцесорний пристрій, що читає сигнали численних датчиків, обробляє їх за допомогою математичних моделей та багатовимірних карт (lookup tables) і формує керуючі сигнали до акторів (форсунок, катушок запалювання, дросельної заслінки, клапанів системи EGR, фазорегуляторів, тощо).

Сучасні EMS, як правило, реалізовані у вигляді:

- центрального ECU керування бензиновим двигуном;
- одного або кількох допоміжних блоків (Transmission Control Unit, Hybrid Control Unit, Body Control Module тощо), об'єднаних у CAN, FlexRay або Ethernet-мережу.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Архітектура системи керування бензиновим двигуном

Датчики (вхідні сигнали ECU)

Основні датчики, що використовуються у бензиновому ДВЗ:

- датчик частоти обертання та положення колінчастого вала (СКР);
- датчик положення розподільчого вала (СМР);
- датчик масової витрати повітря (MAF) або датчик абсолютного тиску (MAP);
- датчик температури охолоджувальної рідини (ECT);
- датчик температури повітря на впуску (IAT);
- датчик положення дросельної заслінки (TPS) та/або датчик положення педалі акселератора (APP);
- кисневий (лямбда)-датчик до та після каталізатора;
- детонаційні датчики;
- датчики тиску палива у рампі GDI;
- датчики положення фазорегуляторів (VVT), тиску у впускному та випускному колекторах, тиску наддуву тощо.

Через ці сигнали ECU «спостерігає» за станом двигуна, навантаженням, температурним режимом, якістю суміші та ефективністю післяобробки відпрацьованих газів.

Виконавчі механізми (актори)

До основних акторів належать:

- форсунки бензину (у системах MPI або GDI);
- котушки запалювання (індивідуальні на циліндр або блочні);
- електронна дросельна заслінка (drive-by-wire);
- клапани та електроприводи системи VVT;
- клапан EGR та приводи заслінок впускного колектора;
- електрклапани адсорбера паливного бака (EVAP);
- клапани систем вторинного підведення повітря, турбонагнітачі з електронним керуванням геометрією;

					<i>KPM.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- елементи системи охолодження (електропомпа, керований термостат, електровентилятори).

Програмне забезпечення ECU

Програмна частина містить:

- базові карти паливоподачі та запалювання;
- моделі динаміки двигуна (обертальний момент, наповнення циліндрів, виробництво NO_x, CO, часток);
- алгоритми керування сумішоутворенням, запалюванням, холостим ходом, фазами газорозподілу, наддувом;
- модулі самодіагностики (OBD/EOBD);
- стратегії захисту (обмеження моменту, обмеження температури каталізатора, захист від детонації).

Основні типи сучасних систем керування бензиновими двигунами

Системи керування з розподіленим упорскуванням (MPI/Port Fuel Injection)

Системи керування з розподіленим упорскуванням пального (MPI/Port Fuel Injection) є одними з базових та найбільш поширених у сучасних бензинових двигунах внутрішнього згорання. Їхня відмінна риса полягає у подачі палива окремою форсункою в кожен впускний канал, безпосередньо перед впускним клапаном, що забезпечує точніше дозування пального та рівномірніший розподіл суміші, ніж у карбюраторних системах чи моноупорскуванні. Електронний блок керування двигуном (ECU) аналізує дані з численних датчиків — масової витрати повітря або тиску у впускному колекторі, частоти обертання колінчастого вала, температури охолоджувальної рідини та впускного повітря, положення дросельної заслінки, сигналів лямбда-датчиків — і на основі цих даних формує імпульси відкриття форсунок, забезпечуючи необхідний склад паливно-повітряної суміші для всіх режимів роботи двигуна [3].

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

До складу системи МРІ входять електробензонасос, паливна рампа, окремі електромагнітні форсунки для кожного циліндра, регулятор тиску палива, датчики параметрів повітря та двигуна, дросельна заслінка (механічна або електронна), а також електронний блок керування. Завдяки злагодженій роботі цих елементів система забезпечує стабільний холостий хід, точне дозування пального, надійний холодний запуск і швидке реагування на зміну навантаження. Застосовуються різні схеми впорскування — паралельна, парна та послідовна. Найбільш ефективною є послідовна схема, яка синхронізує подачу пального з фазами газорозподілу, завдяки чому підвищується точність сумішоутворення, зменшуються втрати та покращується економічність.

Системи розподіленого упорскування мають низку важливих переваг:

- вони забезпечують кращу паливну економічність порівняно з карбюраторними системами;
- дозволяють підтримувати стабільний стехіометричний склад суміші;
- сприяють рівномірному наповненню циліндрів;
- знижують токсичність відпрацьованих газів.

Завдяки низькому робочому тиску, простішій конструкції та меншій вибагливості до якості палива вони є надійними та відносно дешевими в експлуатації. Додатковою перевагою МРІ є практично відсутнє утворення твердих часток, що є характерним недоліком систем безпосереднього впорскування. Саме тому МРІ широко застосовуються у малолітражних атмосферних двигунах і гібридних силових установках, де критично важливими є простота, довговічність і низький рівень викидів.

Разом із тим системи МРІ мають певні обмеження. Вони не дозволяють формувати стратифіковану суміш, що характерно для двигунів із безпосереднім впорскуванням, тому не дають можливості досягти дуже високих коефіцієнтів надлишку повітря або значного підвищення ступеня стиску. Методи дозування пального у перехідних режимах менш точні через

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

утворення паливної плівки на стінках впускних каналів. Крім того, потенціал підвищення ефективності та потужності у MPI нижчий, ніж у GDI-систем, що обмежує їх застосування у високопродуктивних силових агрегатах.

Попри ці недоліки, системи розподіленого упорскування залишаються важливою складовою сучасного двигунобудування. Їх постійно вдосконалюють: покращують конструкції форсунок, застосовують електронні дросельні заслінки, оптимізують алгоритми холодного запуску, удосконалюють стратегії керування каталізатором та системами уловлювання парів палива. У деяких двигунах новітнього покоління реалізуються комбіновані системи, що поєднують MPI та GDI для досягнення оптимальних характеристик у всьому діапазоні навантажень. Завдяки поєднанню простоти, надійності, низької вартості та стабільних екологічних параметрів системи MPI і надалі залишаються актуальними та широко застосовуваними у багатьох автомобільних силових установках.

Системи бензинового безпосереднього впорскування (GDI)

Системи бензинового безпосереднього впорскування пального (GDI — Gasoline Direct Injection) посідають провідне місце у сучасному двигунобудуванні, оскільки забезпечують високий рівень економічності, потужності та екологічності шляхом подачі пального безпосередньо у камеру згоряння. Основна відмінність GDI від систем розподіленого упорскування полягає у тому, що впорскування бензину відбувається не у впускний канал, а в циліндр двигуна, що відкриває можливість точного контролю процесу сумішоутворення та горіння. Завдяки цьому забезпечується ширший діапазон регулювання складу суміші, можливість роботи зі збідненими режимами, підвищення термічного ККД та створення більш гнучких алгоритмів оптимізації згоряння.

Система GDI включає високотисковий паливний насос, рампу високого тиску, форсунки, розраховані на роботу під тиском 50–350 бар, а також розвинуту систему датчиків і електронний блок керування, який синхронізує

					<i>KPM.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

процес упорскування з фазами газорозподілу та умовами роботи двигуна. На відміну від MPI-систем, де паливо має час для випаровування у впускному каналі, у GDI момент і тривалість упорскування визначають локальну структуру суміші в камері згоряння, що дозволяє гнучко змінювати її концентрацію залежно від навантаження й режиму. У режимі низьких навантажень система може формувати стратифіковану суміш із збагаченою зоною навколо свічки запалювання, що істотно зменшує витрату пального. За високих навантажень використовується гомогенна або двоетапна схема впорскування для досягнення максимальної потужності та запобігання детонації.

Перевагою систем GDI є можливість збільшення ступеня стиску за рахунок зменшення ризику детонації — паливо впорскується пізніше, коли температура повітря в циліндрі нижча, що забезпечує кращу антидетонаційну стійкість. Це дозволяє досягати приросту потужності на 10–15 % порівняно з MPI та зменшення витрати пального на 15–20 %. Крім того, GDI забезпечує покращення динамічних характеристик двигуна, швидшу реакцію на натискання педалі акселератора, точніший контроль крутного моменту та повне узгодження із системами змінних фаз газорозподілу (VVT), турбонаддувом і рециркуляцією відпрацьованих газів. Саме тому більшість сучасних наддувних бензинових двигунів використовують технологію GDI у поєднанні з downsizing-концепціями.

Водночас системи безпосереднього впорскування мають низку суттєвих технологічних та експлуатаційних недоліків. Основною проблемою є утворення твердих часток (PM) внаслідок недостатнього часу на випаровування та змішування палива. У результаті у вихлопних газах можуть з'являтися дрібнодисперсні сажові частинки, що потребує застосування бензинових сажевих фільтрів (GPF). Другим важливим недоліком є чутливість до якості палива, оскільки високотискові форсунки та насос мають малий зазор і працюють у складних умовах високих температур та тисків. Це

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

підвищує ризик забруднення, кавітації, передчасного зносу та збоїв у роботі. Крім того, системи GDI є значно дорожчими у виробництві та технічному обслуговуванні, а їхнє калібрування потребує складних багатоетапних процедур на стендах і випробувальних полігонах.

Сучасні системи GDI активно розвиваються в напрямках зменшення емісії твердих часток, підвищення точності дозування палива та розширення можливостей управління процесом згоряння. Покращуються конструкції форсунок для забезпечення тоншого розпилу та більш точної орієнтації факела, удосконалюється геометрія камери згоряння для оптимізації завихрення повітря, зростає робочий тиск систем упорскування для підвищення ступеня дисперсності. Широко впроваджуються комбінації подвійного впорскування (MPI+GDI), що дозволяють зменшити забруднення впускних клапанів, оптимізувати роботу двигуна в різних режимах та знизити токсичність вихлопу. Такі системи використовують провідні компанії Toyota, Lexus, Subaru, Hyundai-Kia та інші.

Незважаючи на складність, системи бензинового безпосереднього впорскування займають ключову роль у сучасному автомобілебудуванні та визначають напрям розвитку бензинових ДВЗ. Вони забезпечують оптимальні показники економічності, динаміки та екологічності, дозволяють ефективно реалізовувати технології downsizing і турбонаддуву та відповідають сучасним вимогам екологічних стандартів [4].

Подальший розвиток GDI пов'язаний із підвищенням тиску упорскування, впровадженням алгоритмів машинного навчання для оптимізації сумішоутворення, зниженням емісії твердих часток і покращенням взаємодії з каталітичними системами та фільтрами. Таким чином, GDI залишається одним із найперспективніших напрямків удосконалення бензинових двигунів і відіграє ключову роль у формуванні вискоефективних силових установок нового покоління.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Системи з турбонаддувом і downsizing

Системи з турбонаддувом і технологія downsizing стали ключовими напрямками розвитку сучасних бензинових двигунів внутрішнього згоряння, оскільки вони дозволяють одночасно підвищити ефективність, зменшити витрату палива та привести роботу двигуна у відповідність до жорстких екологічних вимог. Основна ідея downsizing полягає у зменшенні робочого об'єму двигуна при збереженні або підвищенні його потужності за рахунок застосування турбонаддуву, оптимізованого сумішоутворення та сучасних електронних систем керування.

Сутність турбонаддуву полягає у використанні енергії відпрацьованих газів для обертання турбіни, яка приводить у дію компресор, що подає у циліндри стиснене повітря. Збільшення кількості повітря, що надходить у камеру згоряння, дозволяє спалити більшу кількість пального без збільшення об'єму циліндрів, завдяки чому потужність двигуна може зростати на 30–80 % порівняно з атмосферними аналогами. Турбонаддув підвищує ефективність згоряння, забезпечує кращий крутний момент на низьких і середніх обертах, покращує динаміку автомобіля та дозволяє використовувати двигуни меншого об'єму без втрати продуктивності.

Технологія downsizing на практиці означає заміну великих атмосферних двигунів малолітражними турбованими агрегатами. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити масу силового агрегату, механічні втрати та габарити, що позитивно впливає на паливну економічність. На малих і середніх навантаженнях двигун працює ефективніше завдяки зниженим насосним втратам, а за потреби у високій потужності система турбонаддуву забезпечує швидке зростання крутного моменту. Поєднання технологій турбонаддуву з безпосереднім упорскуванням палива (GDI), системами зміни фаз газорозподілу (VVT) і електронним дроселем дозволяє значною мірою оптимізувати процес згоряння та досягти високого рівня термічного ККД.

					<i>KPM.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Застосування downsized-двигунів дає змогу зменшити витрату пального на 10–25 % і знизити викиди CO₂, що особливо важливо для відповідності стандартам Euro 6/7 та WLTP. Крім того, турбовані двигуни забезпечують значно вищий крутний момент на низьких обертах, підвищуючи комфорт і динаміку під час руху. У сучасних агрегатах широко застосовуються турбонагнітачі зі змінною геометрією, електронне керування перепускними клапанами (wastegate), електроприводи актуаторів та інтеркулери водяного або повітряного охолодження, що дає змогу мінімізувати турбояму, підвищити ефективність наддуву та покращити керованість.

Втім, системи з турбонаддувом і downsizing мають і певні недоліки. Основною проблемою є підвищене теплове та механічне навантаження на поршневу групу, турбокомпресор, клапанний механізм і систему мастила. Висока температура і тиск у камері згоряння вимагають застосування жароміцних матеріалів, удосконалених систем охолодження, точного алгоритмічного керування процесом згоряння та ефективної системи змащення турбіни. Додатково підвищуються вимоги до якості моторної оливи, пального, точності регулювання тиску наддуву та роботи системи GDI. Турбодвигуни чутливі до детонації, тому системи керування повинні мати розвинені модулі корекції запалювання, контролю детонації та адаптивного керування тиском наддуву.

Ще однією особливістю downsized-двигунів є збільшення складності технічного обслуговування, адже для забезпечення надійності необхідно суворо дотримуватися регламентів щодо заміни оливи, фільтрів, діагностики турбіни, контролю системи охолодження та стану свічок запалювання. У деяких випадках зменшений робочий об'єм може призводити до підвищених викидів твердих часток і вимагати встановлення бензинових сажевих фільтрів (GPF), особливо у турбованих двигунах із прямим впорскуванням.

Попри ці недоліки, системи з турбонаддувом і downsizing залишаються одними з найефективніших технологічних рішень у сучасному

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

автомобілебудуванні. Вони поєднують високу продуктивність, паливну економічність та екологічність, забезпечують стабільну роботу в широкому діапазоні навантажень і дозволяють реалізувати концепції компактних, легких і потужних силових установок. Подальший розвиток цих систем пов'язаний із впровадженням електричного наддуву (e-turbo), систем рекуперації енергії відпрацьованих газів, турбонаддуву з двома компресорами (twin-charger), а також із застосуванням алгоритмів машинного навчання для оптимізації керування наддувом і покращення надійності агрегатів. Таким чином, турбонаддув і downsizing є ключовими складовими сучасної концепції високоефективних бензинових двигунів, що відповідають сучасним і перспективним вимогам до енергоефективності та екологічної безпеки.

Керування змінними фазами газорозподілу (VVT/VVL)

Системи керування змінними фазами газорозподілу (VVT — Variable Valve Timing) та змінною висотою підйому клапанів (VVL — Variable Valve Lift) є одним із ключових напрямів удосконалення сучасних бензинових двигунів, спрямованих на підвищення їх ефективності, потужності та екологічності. Основна ідея таких систем полягає у можливості змінювати моменти відкриття та закриття клапанів, а також регулювати висоту їх підйому залежно від режиму роботи двигуна. Це дозволяє оптимізувати процес наповнення й очищення циліндрів, знизити насосні втрати, покращити характеристики згоряння та забезпечити кращу роботу двигуна в широкому діапазоні навантажень і швидкостей обертання.

У традиційних двигунах газорозподільчий механізм працює за жорсткою геометрією профілю кулачка, що фіксує фазу, тривалість і підйом клапана. Таке рішення є компромісним: параметри вибирають таким чином, щоб забезпечити прийнятні характеристики в більшості режимів, але без можливості оптимізації в конкретних умовах роботи. Натомість системи VVT і VVL дають змогу адаптувати роботу клапанного механізму до реальних потреб двигуна, що значно розширює його функціональні можливості.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Системи VVT базуються на застосуванні фазорегуляторів, які змінюють кутове положення розподільчого вала відносно колінчастого вала. Керований гідравлічний або електромеханічний актуатор повертає розподільчий вал на потрібний кут, завдяки чому змінюється час відкриття й закриття впускних або випускних клапанів. У режимах низького навантаження більш пізнє відкриття впускних клапанів знижує насосні втрати та покращує паливну економічність. У режимах високої потужності більш раннє відкриття і пізніше закриття клапана дозволяють покращити наповнення циліндрів і підвищити ККД газообміну. Крім того, зміна фаз дає можливість реалізовувати внутрішній EGR — часткове повернення відпрацьованих газів у циліндр, що сприяє зменшенню утворення NOx.

Системи VVL розширюють можливості VVT, дозволяючи змінювати не лише фазу, а й висоту підйому клапана. Це забезпечується за допомогою складної конструкції коромисел, ексцентрикових механізмів або електромеханічних приводів, що вибирають один із декількох профілів кулачка або плавно змінюють ефективний підйом клапана. На малих навантаженнях низький підйом клапанів сприяє значному зменшенню насосних втрат, покращенню стабільності роботи двигуна та зниженню витрати пального. На високих обертах збільшений підйом забезпечує кращу пропускну спроможність впускного і випускного трактів, що дозволяє підвищити потужність без збільшення робочого об'єму двигуна. Такий принцип покладено в основу систем Honda VTEC, BMW Valvetronic, Toyota Valvematic та інших [5].

Ефективність роботи сучасних систем VVT/VVL значною мірою залежить від електронного блоку керування двигуном (ECU), який визначає оптимальні кути фаз і параметри підйому клапанів. ECU аналізує інформацію про навантаження, частоту обертання двигуна, температуру охолоджувальної рідини, попередження детонації, сигнал лямбда-датчика та інші параметри. На основі цієї інформації він формує керуючі сигнали до гідравлічних клапанів,

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

електроприводів або електромеханічних актуаторів систем VVT/VVL. Синхронізація зміни фаз із процесами упорскування та запалювання дозволяє досягти максимальної ефективності й мінімізувати викиди шкідливих речовин.

Переваги систем керування змінними фазами газорозподілу є суттєвими. Вони забезпечують зниження витрати палива на 5–15 %, покращують крутний момент на низьких обертах, збільшують максимальну потужність, зменшують утворення NOx та підвищують загальну ефективність двигуна. Завдяки зменшенню насосних втрат та оптимізації наповнення циліндрів технології VVT/VVL дозволяють значно підвищити термічний ККД силової установки без збільшення її маси чи габаритів. У поєднанні з GDI та турбонаддувом такі системи забезпечують оптимальний режим згоряння в широкому діапазоні навантажень, що особливо важливо для downsized-двигунів.

Разом із перевагами існують і певні обмеження. Системи VVT/VVL є складними в конструкції та потребують високої точності виготовлення, надійної роботи гідравліки та мастильної системи. Вихід з ладу актуаторів, електромагнітних клапанів або механізмів зміни профілю кулачка може суттєво погіршити роботу двигуна. Крім того, такі системи чутливі до якості моторної оливи, її тиску та чистоти, що зумовлює суворі вимоги до обслуговування.

Попри складність, системи VVT та VVL стали невід'ємною частиною більшості сучасних бензинових двигунів, оскільки забезпечують оптимальний баланс між потужністю, економічністю і екологічністю. Подальший розвиток цих систем пов'язаний із впровадженням електричних приводів замість гідравлічних, інтеграцією з алгоритмами машинного навчання для прогнозування оптимальних фаз газорозподілу, застосуванням високошвидкісних актуаторів та поєднанням із технологіями безклапанного газорозподілу. Таким чином, системи VVT/VVL є одним з найважливіших

					<i>KPM.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

напрямів розвитку сучасних бензинових ДВЗ, що забезпечують їх високу ефективність та відповідність сучасним екологічним стандартам.

Інтеграція з гібридними силовими установками

Інтеграція бензинових двигунів із гібридними силовими установками є одним із ключових напрямів розвитку сучасного автомобілебудування, оскільки поєднання двигуна внутрішнього згоряння з електричним приводом дозволяє суттєво підвищити паливну економічність, зменшити токсичність викидів та забезпечити високі динамічні характеристики транспортного засобу. По суті, гібридна силова установка є комплексом з кількох енергетичних джерел, які працюють у взаємодії під керуванням потужної електронної системи керування, що координує роботу бензинового двигуна, електродвигуна, інвертора, тягової батареї та трансмісії. Завдяки цьому гібридні автомобілі оптимізують використання енергії залежно від режиму руху, стилю водіння та дорожніх умов, забезпечуючи мінімальні втрати та максимальну ефективність.

Інтеграція бензинового двигуна з електричним компонентом потребує глибокої модернізації систем керування двигуном (EMS), оскільки традиційна логіка «дроселювання – запалювання – упорскування» доповнюється новими функціями, пов'язаними з розподілом крутного моменту, координацією роботи різних джерел енергії та забезпеченням плавності переходу між режимами. У гібридних силових установках двигун внутрішнього згоряння працює не в усьому діапазоні навантажень, а переважно в оптимальних для нього режимах, де досягається максимальний термічний ККД та мінімальні викиди. Частину тягових режимів, особливо на малих швидкостях, бере на себе електродвигун, що дозволяє знизити втрати, пов'язані з роботою ДВЗ у неефективних режимах [6].

Електронний блок керування гібридною установкою (Hybrid Control Unit, HCU) координує роботу бензинового двигуна та електродвигуна у реальному часі. Він визначає, коли доцільно запускати ДВЗ, коли переводити

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

автомобіль на чисто електричний режим, коли поєднувати роботу обох силових агрегатів, а також коли здійснювати рекуперацію енергії гальмування. HCU аналізує параметри навантаження, стан високовольтної батареї, температуру системи, швидкість автомобіля, кут педалі акселератора та інші параметри, формуючи оптимальну стратегію керування. Взаємодія між EMS та HCU повинна бути надзвичайно точною, оскільки від цього залежить плавність роботи силової установки, відсутність поштовхів під час перемикання режимів та максимальна енергоефективність.

Однією з ключових задач електронної системи керування є миттєвий перезапуск бензинового двигуна, що особливо важливо для систем типу «Stop–Start» та серійних гібридів. ДВЗ повинен запускатися практично непомітно для водія, без затримок та без коливань обертів, що потребує високоточного керування подачею пального, кутом випередження запалювання та положенням фаз газорозподілу. Для цього застосовуються електричні стартери підвищеної потужності або стартер-генератори, інтегровані в трансмісію.

У паралельних гібридах інтеграція передбачає сумісну роботу ДВЗ і електродвигуна у вигляді єдиного джерела тяги. У таких системах бензиновий двигун повинен забезпечувати стабільне вироблення крутного моменту, в той час як електродвигун компенсує пікові навантаження та знижує витрати пального у динамічних режимах. Важливою функцією є крутномоментне керування, коли EMS не просто формує тягу двигуна, а підлаштовує її під запит HCU та параметри електричної частини.

У серійних та силових розподільних (power-split) гібридах двигун внутрішнього згоряння може працювати як генератор, виробляючи електроенергію для тягової батареї або електродвигуна. Для цього алгоритми EMS налаштовуються не на динаміку автомобіля, а на максимально ефективний режим роботи ДВЗ, з мінімальною витратою пального. В таких

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

умовах досягається найвищий рівень термічної ефективності – до 40–41 % у деяких сучасних гібридних двигунів Toyota.

Інтеграція з гібридними силовими установками також накладає додаткові вимоги на охолодження, мащення, електробезпеку та алгоритми контролю за станом компонентів. Турбонаддув, GDI та VVT/VVL повинні працювати в синхронізації з електричною частиною, що значно ускладнює систему керування. Важливим аспектом є також точне керування температурою каталізатора, оскільки часті вимкнення ДВЗ можуть призводити до його охолодження та зниження ефективності очищення вихлопних газів. Для вирішення цих проблем застосовуються спеціальні стратегії прогріву каталізатора, електричні нагрівачі та багаторежимні системи запалювання.

Стратегії та алгоритми керування

Крутномоментно-орієнтоване керування (torque-based control)

Сучасні ECU працюють за принципом керування від бажаного крутного моменту: водій, натискаючи педаль акселератора, задає не положення дроселя, а запитаний момент. Блок керування, враховуючи обмеження по емісіях, надійності й тягових можливостях, обчислює:

- положення дросельної заслінки;
- подачу палива і кут запалювання;
- положення фаз газорозподілу;
- тиск наддуву;
- можливі обмеження (traction control, ESP, захист трансмісії).

Керування сумішоутворенням та запалюванням

Основні завдання:

- підтримання стехіометричного співвідношення $\lambda \approx 1$ у режимах з активною роботою трикомпонентного каталізатора;

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- реалізація збіднених або збагачених режимів (при розгоні, холодному запуску, захисті компонування);
- корекція за сигналами лямбда-датчиків (closed-loop fuel trim);
- управління кутом запалювання з урахуванням виникнення детонації (knock control), температури, навантаження та якості палива.

Холостий хід та перехідні процеси

Алгоритми холостого ходу координують дросель, кут запалювання, іноді – фазу впускного клапана, аби забезпечити:

- стабільність обертів;
- зниження вібрацій і шуму;
- мінімальну витрату палива та викиди у режимах, чутливих до стандартів WLTP/NEDC.

Керування системами післяобробки

Для бензинових двигунів EMS керує:

- трикомпонентним каталізатором (TWC) — підтримання $\lambda \approx 1$, температури та наповнення киснем;
- пасти-паливними фільтрами (GPF) у GDI-двигунах — стратегії регенерації фільтра, збагачення, керування температурою вихлопу;
- системами вторинного повітря та EVAP для зниження викидів HC та CO на холодному пуску.

Функції діагностики та OBD

Сучасні системи керування обов'язково інтегрують On-Board Diagnostics (OBD/EOBD). Основні функції:

- контроль працездатності датчиків і акторів (обрив, коротке замикання, некоректні сигнали);

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- моніторинг ефективності каталізатора, лямбда-датчиків, системи EVAP, EGR, GPF;
- контроль перевищення емісій понад допустимі пороги;
- реєстрація кодів несправностей (DTC), запис «заморожених кадрів» (freeze frames);
- інформування водія через лампу MIL та можливість зчитування даних через діагностичний роз'єм.

Вимоги до OBD систем детально регламентовані європейськими та міжнародними нормативними актами (Euro 6/VI, UN GTR тощо).

Тенденції розвитку та напрями сучасних досліджень

Інтеграція штучного інтелекту і машинного навчання

Останні роботи демонструють активне впровадження AI/ML-методів для:

- адаптивного керування крутним моментом та сумішоутворенням;
- прогнозування відмов і залишкового ресурсу систем (predictive maintenance);
- оптимізації калібрування карт ECU на основі великих масивів експериментальних і експлуатаційних даних;
- оновлення прошивки по повітрю (OTA) з індивідуальною адаптацією під конкретний автомобіль.

Модельно-прогнозне керування (MPC) і цифрові двійники

Зростає інтерес до nonlinear model predictive control (NMPC) для керування VVT, EGR, наддувом та GDI-впорскуванням, що дозволяє мінімізувати витрату палива й викиди за рахунок прогнозування динаміки двигуна й обмежень на реальних режимах [7].

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Підтримка альтернативних та багатокомпонентних палив

Сучасні EMS мають бути здатними працювати з:

- бензин-етанольними сумішами (E10, E85);
- воднево-бензиновими й синтетичними паливами;
- паливами зі змінними властивостями (октанове число, склад).

Це потребує розширених моделей згоряння, адаптивних стратегій запалювання й узгодження з системами нейтралізації.

Кібербезпека та оновлення програмного забезпечення

Через підключення ECU до зовнішніх мереж (телематика, OTA-оновлення, V2X) постає проблема кібербезпеки:

- захист від несанкціонованого чіп-тюнінгу;
- запобігання втручанню в критично важливі контури керування;
- забезпечення цілісності калібрувань та прошивки.

Основні проблеми та виклики

Попри високий рівень розвитку, сучасні системи керування мають низку проблемних моментів:

Складність калібрування

Для сотень і тисяч багатовимірних карт потрібні великі обсяги експериментів на стендах та полігоні, що значно збільшує вартість розробки.

Конфлікт цілей «економічність — екологія — ресурс»

Збіднення суміші й підвищення ступеня стиску покращують ККД, але посилюють детонацію, збільшують термічні навантаження і викиди NO_x та твердих часток.

Надійність і старіння датчиків/акторів

Робота в умовах високих температур, вібрацій і корозії створює ризики відмов датчиків (особливо лямбда, NO_x, GPF-датчиків) і клапанів VVT/EGR.

Вартість і складність ремонту

Висока інтеграція апаратури, необхідність спеціалізованого діагностичного обладнання та програмного забезпечення ускладнюють сервіс та збільшують його вартість.

Вимоги до обчислювальної потужності та енергоспоживання

Запровадження AI/ML, MPC та розширених діагностичних функцій потребує потужніших мікроконтролерів при збереженні жорстких вимог до надійності та енергоспоживання в жорстких умовах підкапотного простору [8].

Висновки

Сучасні системи керування бензиновими автомобільними двигунами є високотехнологічними комплексами, які:

- поєднують десятки датчиків, акторів і декілька ECU в єдину мережу;
- реалізують крутномоментно-орієнтоване, модельно-прогнозне та адаптивне керування;
- забезпечують виконання жорстких екологічних норм (Euro 6/7, WLTP, OBD) при одночасному підвищенні паливної економічності та динамічних якостей автомобіля;
- інтегруються з гібридними трансмісіями, телематичними системами та хмарними сервісами.

Подальший прогрес у цій сфері визначатиметься:

- широким впровадженням AI/ML-алгоритмів;
- розвитком NMPC та цифрових двійників двигуна;
- розширенням підтримки альтернативних палив;
- посиленням кібербезпеки й удосконаленням процедур калібрування.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для інженера-дослідника напрямок вдосконалення систем керування бензиновими двигунами залишається надзвичайно перспективним, оскільки саме тут зосереджується «інтелект» силової установки, що визначає реальні екологічні, економічні та експлуатаційні характеристики сучасного автомобіля.

В даній кваліфікаційній роботі буде розглянуто питання оптимізації режимів роботи двигуна 4С8,75/8,31 (2.0 Duratec Ti-VCT), який буде працювати у складі гібридної енергетичної установки автомобільного транспортного засобу. Модернізація торкнеться системи управління подачею палива, а саме використання комбінованої системи упорскування. Така система поєднує впорскування палива безпосередньо в циліндр та впорскування у впускний канал. Попередні спостереження свідчать, що зміна частки палива, яке подається через ці два типи форсунок, може істотно впливати на економічність та робочі характеристики двигуна. Зокрема, оптимальне співвідношення упорскування залежить від частоти обертання колінчастого вала та навантаження.

Проте просте регулювання цього співвідношення ще не гарантує підвищення ефективності. Для кожного способу подачі палива існують свої діапазони режимів, у яких досягається максимальна економічність. Наприклад, режим з найменшими питомими витратами палива при роботі лише на циліндрових форсунках може суттєво відрізнитися від оптимального режиму для роботи лише через канал.

При комбінованій подачі палива економічність двигуна визначається тим, у якому саме робочому режимі він працює. В реальних умовах один і той самий рівень потужності може бути досягнутий у кількох режимах, які мають різну ефективність, крутний момент і рівень викидів. В окремих ситуаціях доцільно працювати в режимі максимальної економічності, а в інших — обирати режим із підвищеним крутним моментом для забезпечення динамічних характеристик.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		32

Таким чином, виникає потреба у дослідженні, яке дозволить визначити оптимальні режими роботи двигуна при комбінованому впорскуванні з різним співвідношенням подачі палива через форсунки. Очікується, що правильний підбір цих режимів дасть змогу:

- підвищити паливну економічність двигуна;
- оптимізувати крутний момент у різних режимах навантаження;
- забезпечити стабільну роботу за умов зміни частоти обертання;
- забезпечити прийнятні показники токсичності та низькі викиди.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ
ДВИГУНА 4Ч8,75/8,31 (2.0 DURATEC TI-VCT)

Тепловий розрахунок двигуна 4Ч8,75/8,31 (2.0 DURATEC TI-VCT)

Параметр	Значення
<i>Вихідні дані</i>	
Діаметр циліндра, м	0,0875
Хід поршня, м	0,0831
Частота обертання, хв ⁻¹	6500
Тактність	0,5
Число циліндрів	4
Тиск наддуву, МПа	0, 1013
Тиск навколишнього середовища, МПа	0,1013
Температура навколишнього середовища, К	303
Показник політропи стиснення в компресорі	1
Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння	0,85
Коефіцієнт використання тепла в точці z	0,9
Коефіцієнт використання тепла в точці b	0,92
Ступінь стиснення	12
Відношення середньої ізобарної теплоємності ВГ та свіжого заряду	1,15
Підігрів заряду від стінок циліндра	20
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	0,96
Коефіцієнт втрати тиску у впускному колекторі	0,96
Механічний ККД двигуна	0,777
Втрата тиску в повітроохолоджувачі, МПа	0
Температура залишкових газів, К	700

Нижча теплота згоряння палива, кДж/кг	43960
Коефіцієнт дозарядки	1,04
Коефіцієнт продувки	0,25
Тиск в випускному колекторі, МПа	0,11
Вуглець С, %	0,855
Водень Н ₂ , %	0,145
<i>Розрахунок процесу наповнення</i>	
Температура повітря на вході в двигун, К	303,000
Температура повітря в точці а, К	328,119
Тиск повітря в точці а, МПа	0,097
Коефіцієнт наповнення	0,995
Коефіцієнт залишкових газів	0,0107
<i>Розрахунок процесу стиснення</i>	
Теплоємність робочого тіла в точці с, кДж/(кмольК)	21,608
Середній показник політропи стиснення	1,375
Тиск наприкінці стиснення, МПа	2,962
Температура наприкінці стиснення, К	832,902
<i>Розрахунок процесу згоряння</i>	
Стехіометричне співвідношення	0,512
Кількість свіжого повітря, кмоль/кг	0,444
Кількість робочого тіла після процесу <u>згоряння</u> , кмоль/кг	0,487
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	1,098
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	1,097
Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z	1,095
Максимальна температура згоряння, К	2829
Максимальний тиск згоряння, МПа	11,016
Ступінь підвищення тиску при згорянні	3,719

<i>Розрахунок процесу розширення</i>	
Середній показник політропи розширення	1,247
Температура наприкінці процесу розширення, К	925,607
Тиск наприкінці процесу розширення, МПа	0,496
<i>Індикаторні показники</i>	
Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа	1,424
Дійсний середній індикаторний тиск, МПа	1,367
Індикаторний ККД	0,345
Індикаторна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	0,237
<i>Ефективні показники</i>	
Середній ефективний тиск, МПа	1,062
Ефективний ККД двигуна	0,268
Ефективна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	0,306
Ефективна потужність двигуна, кВт	115,062

Оптимізація режимів роботи двигуна 4С8,75/8,31 (2.0 DURATEC TI-VCT)

На рис. 3.1 подано структурну схему гібридного транспортного засобу 20, оснащеного пристроєм відбору потужності. Така конфігурація розглядається в дипломній роботі. Як видно зі схеми, гібридний транспортний засіб 20 включає двигун 22 та інтегрований тривальний механізм 30 розподілу потужності. Останній складається із сонячної шестерні 31, кільцевої шестерні 32 та водила 34, з'єднаного з набором сателітних коліс 33.

Водило 34 цього комбінованого механізму з'єднане з колінчастим валом 26 (або вихідним валом) двигуна 22 через демпфер 28. Вал 32а кільцевої шестерні 32 пов'язаний із провідними колесами 39а, 39b через зубчасту передачу 37 та диференціал 38.

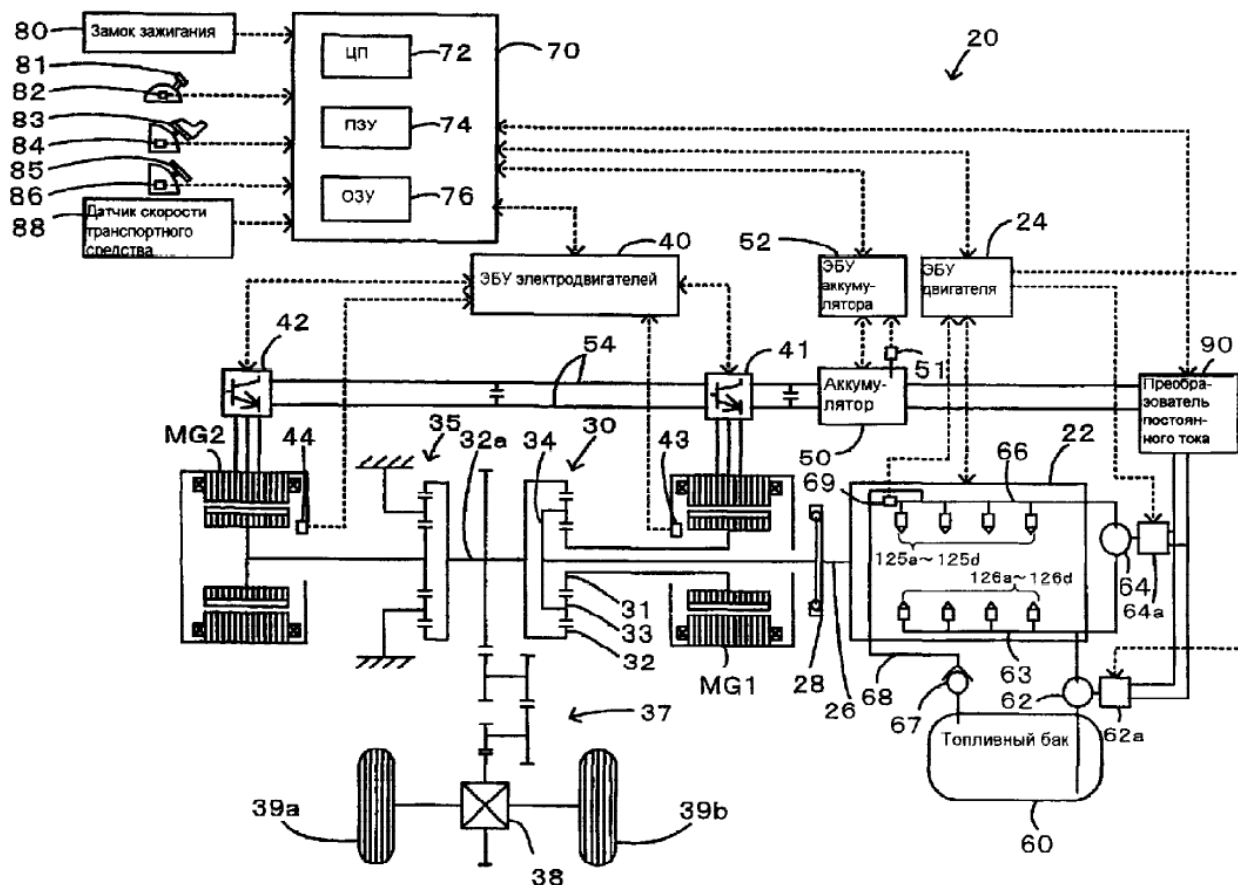


Рисунок 3.1 – Загальна схема гібридного транспортного засобу

Як показано на рис. 3.2, двигун 22 має дві групи форсунок:

- 125 (125a–125d) — форсунки прямого впорску палива у циліндр, призначені для подачі бензину безпосередньо в камеру згоряння;
- 126 (126a–126d) — форсунки непрямого (портового) уприску, які подають паливо у впускний канал.

У роботі розглядається керування трьома основними режимами роботи двигуна 22:

- Режим портового впорскування: очищене повітря після фільтра 122, проходячи через дросель 124, змішується з паливом, поданим через клапани 126. Суміш надходить у циліндр через впускний клапан 128 і запалюється свічкою 130.

- Режим прямого впорскування: при надходженні повітря через впускний клапан 128 паливо вводиться безпосередньо у циліндр форсунками 125 під час такту впуску або стиснення.
- Комбінований режим: частина палива подається у канал (через 126), а частина — безпосередньо в циліндр (через 125), що забезпечує оптимальне згоряння за різних режимів навантаження.

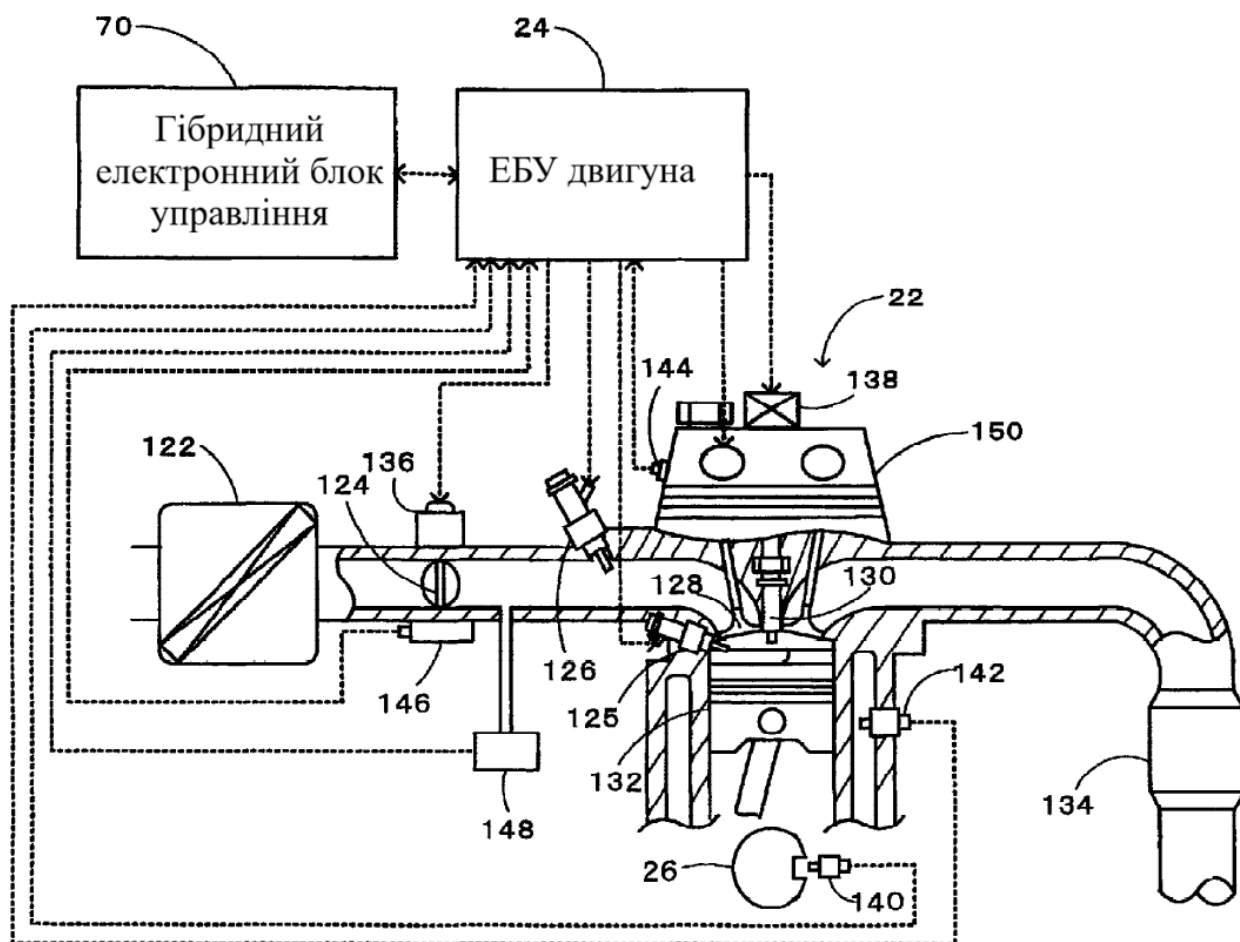


Рисунок 3.2 – Схема конструкції двигуна з системою управління

У всіх випадках енергія згоряння перетворюється на обертання колінчастого вала 26. Відпрацьовані гази проходять через трикомпонентний каталізатор 134, який нейтралізує CO, HC і NO_x.

Подача палива до форсунок організована таким чином. З бака 60 паливо подається електричним насосом 62 до форсунок 126 (портове впорскування).

Для системи прямого впорскування використовується високонапірний насос 64, який через трубопровід 66 подає паливо до форсунок 125.

Привід насосів 62а і 64а здійснюється електродвигунами, що живляться від акумулятора 50 через перетворювач постійного струму 90. На виході насоса високого тиску 64 встановлено зворотний клапан, який запобігає падінню тиску в магістралі 66. Паралельно підключений перепускний трубопровід 68 повертає надлишок палива в бак 60 через клапан 67, забезпечуючи стабільний рівень тиску.

Для уникнення витoku палива через форсунки 125а–125d після зупинки двигуна тиск у системі прямого впорскування знижується до заданого безпечного рівня.

У конструкцію гібридної силової установки також входять два електродвигуни:

MG1, який з'єднаний із сонячною шестернею 31 механізму 30 розподілу потужності та може працювати в генераторному або моторному режимі;

MG2, що з'єднаний із кільцевою шестернею 32 через вал 32а та редуктор 35 і забезпечує тягову функцію.

Керування роботою всієї силової системи здійснює гібридний електронний блок 70, що координує взаємодію ДВЗ, електродвигунів MG1/MG2 та механізму розподілу потужності.

Керування двигуном 22 здійснюється електронним блоком керування 24 (далі — ЕБУ 24 двигуна). ЕБУ отримує на свої вхідні канали (на схемі не показані) сигнали від численних датчиків, які контролюють робочі параметри двигуна 22.

До таких сигналів належать:

- положення кривошипа, яке надходить від датчика 140 і визначається як кут повороту колінчастого вала 26;
- температура охолоджувальної рідини, яку вимірює датчик 142 та яка характеризує тепловий стан двигуна;

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- положення кулачка розподільного валу, що вимірюється датчиком 144 і визначає моменти відкриття та закриття впускного клапана 128 і випускного клапана;
- ступінь відкриття дросельної заслінки, що надходить від датчика 146 та характеризує положення заслінки 124;
- витрата повітря / розрідження у впускному тракті, вимірювана датчиком 148 та інтерпретована як навантаження двигуна 22;
- тиск палива P_f , який надходить від датчика 69, встановленого в подаючому трубопроводі 66 системи високого тиску для форсунок 125a–125d прямого впорскування.

На основі цих даних ЕБУ 24 двигуна формує та подає керуючі сигнали (вихідні канали не показані) на такі виконавчі елементи:

- форсунки 125a–125d прямого впорску та форсунки 126a–126d портового впорску;
- електропривід 136 дросельної заслінки;
- котушку запалювання 138;
- механізм 150 зміни фаз газорозподілу (VVT);
- електродвигуни 62a та 64a паливних насосів низького та високого тиску.

ЕБУ 24 двигуна підтримує постійний обмін інформацією з гібридним блоком 70 керування, отримуючи від нього команди та передаючи дані про робочий стан двигуна. Це забезпечує координацію в межах гібридної силової установки.

Керування електродвигунами MG1 та MG2

Електродвигуни MG1 та MG2 конструктивно є синхронними електромашинами з можливістю роботи як у моторному, так і в генераторному режимах. Вони підключені до акумулятора 50 через силові лінії 54 та інвертори 41 і 42.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Робота цих електродвигунів координується окремим електронним блоком керування 40 (ЕБУ 40 електродвигунів). Він отримує:

- сигнали про кутове положення роторів від датчиків 43 та 44;
- сигнали про фазові струми від датчиків струму (не показані).

На основі цих даних ЕБУ 40 формує команди перемикання для інверторів 41 та 42. Крім того, ЕБУ 40 обмінюється даними з гібридним блоком 70 для синхронізації роботи MG1 та MG2 у залежності від режиму руху транспортного засобу.

Керування акумуляторною батареєю

Акумулятор 50 контролюється ЕБУ 52 акумулятора. Він отримує такі вхідні дані:

- напругу між клемми (від датчика напруги);
- струм заряду/розряду (від датчика струму на лінії 54);
- температуру Т_б акумулятора (від датчика 51).

ЕБУ 52 визначає стан заряду SOC акумулятора на основі інтегрування величини зарядно-розрядних струмів. Отримані дані передаються в гібридний блок 70 для забезпечення оптимального режиму енергорозподілу.

Гібридний електронний блок керування

Гібридний блок 70 керування є мікропроцесорним модулем, що включає:

- ЦП 72 — центральний процесор;
- ПЗП 74 — пам'ять програм;
- ОЗП 76 — оперативна пам'ять для зберігання змінних;
- канали вводу/виводу та канал зв'язку (не показані).

До блоку 70 надходять такі сигнали:

- команда запуску від замка 80 запалювання;
- положення важеля перемикання передач SP (датчик 82, важіль 81);
- ступінь натискання педалі акселератора Асс (датчик 84, педаль

83);

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- положення педалі гальма ВР (датчик 86, педаль 85);
- швидкість транспортного засобу V (датчик 88).

Гібридний блок 70 координує роботу всіх ЕБУ:

- ЕБУ 24 двигуна,
- ЕБУ 40 електродвигунів,
- ЕБУ 52 акумулятора,

передаючи команди та отримуючи від них діагностичні й робочі дані.

Така інтеграція дозволяє реалізувати різні режими гібридної силової установки (EV-режим, паралельний, серійний, рекуперація, асистування двигуну тощо).

У гібридному транспортному засобі 20, конструкція якого розглядається в даному варіанті реалізації, гібридний блок керування визначає необхідний крутний момент Tr^* , який повинен бути переданий на вал 32а кільцевої шестерні — тобто на приводний вал силової установки. Значення цього моменту розраховується на основі поточної швидкості руху V та ступеня натискання на педаль акселератора Асс, що відображає запит водія на тягу.

У подальшому робота двигуна 22 та електродвигунів MG1 і MG2 координується так, щоб забезпечити подачу необхідної потужності, яка відповідає розрахованому крутному моменту Tr^* і має бути виведена на вал 32а.

Керування двигуном 22 і електродвигунами MG1/MG2 проводиться з вибором одного з трьох робочих режимів:

1. Режим перетворення крутного моменту

У цьому режимі роботу двигуна 22 налаштовують так, щоб він видавав потужність, еквівалентну необхідному рівню тяги. Електродвигуни MG1 та MG2 при цьому керуються таким чином, щоб уся потужність ДВЗ ефективно перетворювалася механізмом 30 розподілу потужності та передавалася на вал 32а.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42

Тобто MG1 і MG2 не використовуються як джерела або споживачі електроенергії — вони лише забезпечують механічне узгодження потоків потужності.

2. Режим врахування заряду / розряду акумулятора

У цьому режимі двигун 22 керується так, щоб забезпечити сумарну потужність, яка включає:

- необхідну потужність для руху (крутний момент Tr^*),
- плюс/мінус енергетичну складову, що відповідає заряду або розряду акумулятора 50.

Електродвигуни MG1 і MG2 при цьому виконують одразу дві функції:

- передають механічну потужність на вал 32а через механізм 30;
- одночасно беруть участь у заряджанні чи розряджанні акумулятора 50.

Таким чином, цей режим дозволяє гібридній системі підтримувати оптимальний баланс енергії.

3. Режим використання електродвигуна (EV-режим)

У цьому режимі двигун 22 вимикається, а рух забезпечується тільки електродвигуном MG2, який передає потрібну потужність на вал 32а. Це може бути корисним при малих швидкостях, у міських циклах або для економії палива.

Співвідношення між режимами

Режим перетворення крутного моменту фактично є окремим випадком режиму з урахуванням заряду/розряду, коли обмін енергією з акумулятором дорівнює нулю. Отже, в моделі немає потреби жорстко розділяти ці режими.

На практиці, відповідно до логіки гібридної системи, гібридний транспортний засіб 20 працює в одному з двох основних режимів:

- Режим руху лише на електродвигуні (EV);
- Режим руху із задіянням двигуна внутрішнього згоряння з урахуванням можливого підзаряду або розряду акумулятора.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Саме їхня взаємодія досліджується та моделюється в рамках дипломної роботи для оцінки енергетичної ефективності та оптимізації розподілу потужності.

На рис. 3.3 подано блок-схему підпрограми керування роботою гібридної силової установки, що виконується гібридним електронним блоком керування 70 у складі транспортного засобу. Ця підпрограма запускається циклічно через фіксовані інтервали часу — зазвичай кожні кілька мілісекунд, що забезпечує оперативне та високоточне керування режимами роботи гібридної установки.

У межах алгоритму, наведеного на рис. 3, центральний процесор ЦП 72 спочатку зчитує всі необхідні вхідні дані для керування (етап S100), а саме:

- ступінь відкриття акселератора Асс від датчика 84;
- швидкість руху транспортного засобу V від датчика 88;
- частоти обертання електродвигунів $Nm1$ та $Nm2$ для $MG1$ і $MG2$;
- стан заряду (SOC) акумулятора 50;
- допустимі межі вхідної (Win) і вихідної ($Wout$) потужності акумулятора 50;
- поточне співвідношення k між прямим та портовим упорскуванням палива (між клапанами 125 і 126);
- запит високого крутного моменту, який активується, якщо система визначає пріоритет тяги над економією палива.

Швидкості $Nm1$ і $Nm2$ обчислюються на основі сигналів з датчиків положення роторів 43 і 44 та передаються до гібридного блоку 70 через канал зв'язку з ЕБУ 40 електродвигунів.

Стан заряду акумулятора SOC надходить від ЕБУ 52 акумулятора та визначається методом інтеграції зарядно-розрядних струмів. Межові значення Win і $Wout$ також формуються ЕБУ 52 залежно від температури та SOC акумулятора.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

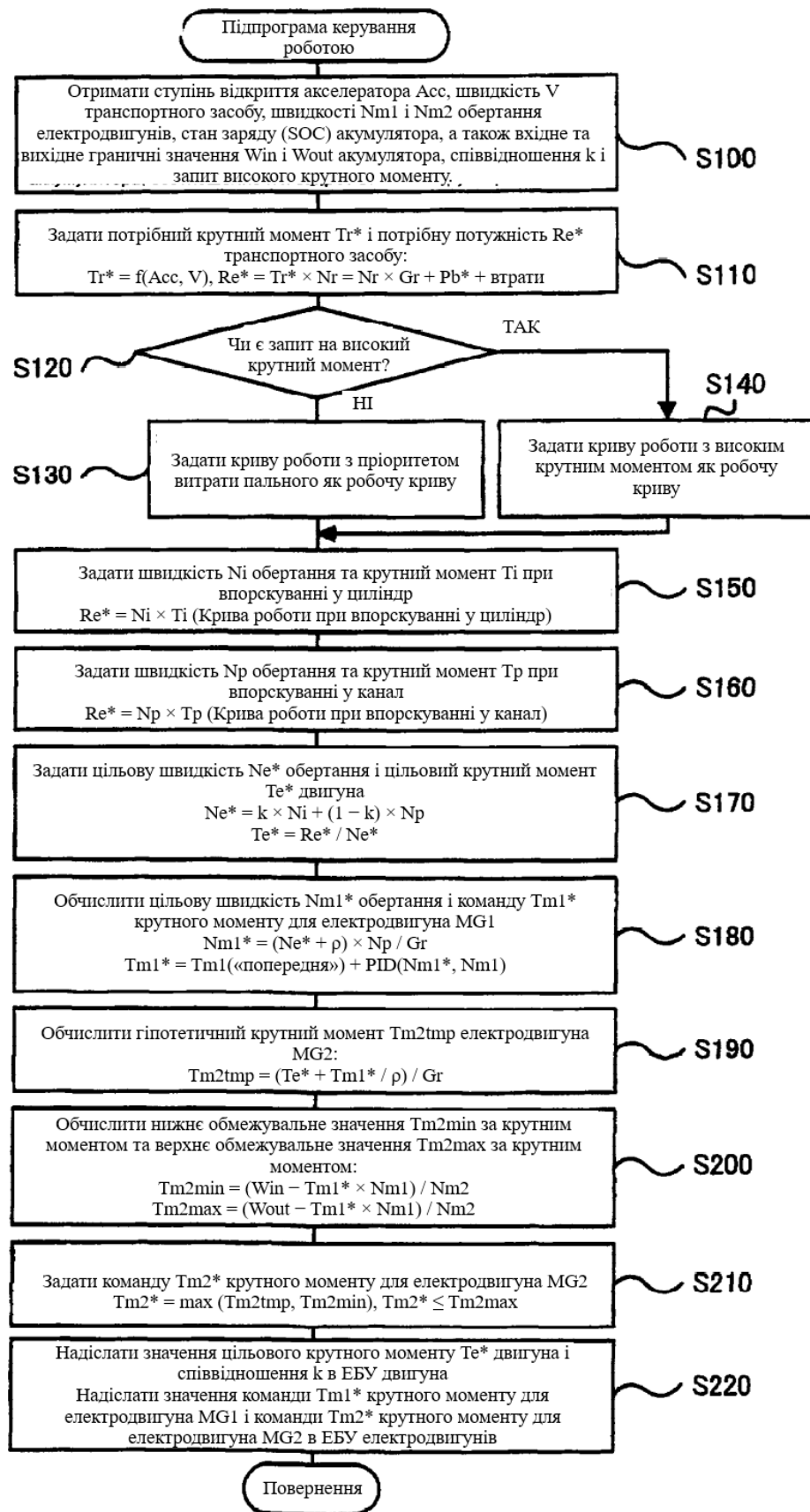


Рисунок 3.3 – Схема алгоритму роботи гібридного блока електронного управління

Співвідношення k встановлюється в окремій підпрограмі керування впорскуванням, яка також працює в гібридному блоці 70.

Запит високого крутного моменту залежить від динаміки роботи педалі 83 акселератора — швидкості її відпускання чи натиснення — та статусу відповідного логічного прапорця.

Формування необхідного крутного моменту та потужності

Після збору всіх вхідних параметрів ЦП 72 переходить до визначення необхідного крутного моменту Tr^* та необхідної загальної потужності Re^* для силової установки (етап S110). Ці значення визначаються на основі ступеня відкриття акселератора Ass та швидкості автомобіля V .

У межах даного варіанта реалізації логіка визначення Tr^* закладена у ПЗП 74 у вигляді таблиць або закономірностей (карт) — залежностей крутного моменту від Ass і V . У процесі роботи гібридний блок 70 зчитує із ПЗП відповідне значення Tr^* , яке відповідає поточним умовам руху.

Таке попереднє збереження й таблична інтерполяція дозволяють значно прискорити обчислення в реальному часі, що є критично важливим для системи, яка працює з періодом у кілька мілісекунд.

На рис. 3.4 подано один із прикладів закономірності визначення потрібного крутного моменту Tr^* , що застосовується в алгоритмі керування гібридної силової установки.

Необхідна потужність гібридного транспортного засобу Re^* визначається як сума трьох складових:

- добутку потрібного крутного моменту Tr^* на частоту обертання Nr вала 32а кільцевої шестерні (приводного валу),
- необхідної електричної потужності Pb^* під час заряджання/розряджання акумулятора 50,
- втрат у силовому трактові.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

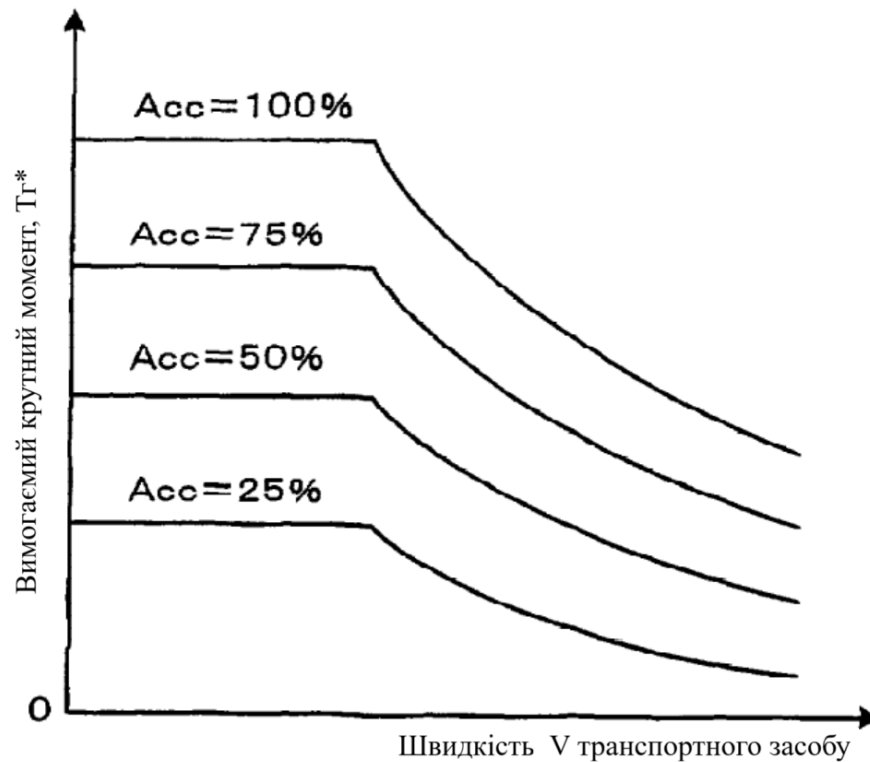


Рисунок 3.4 – Закономірність визначення необхідного крутного моменту

Швидкість обертання Nr отримують одним із двох способів:

- діленням швидкості обертання $MG2$ ($Nm2$) на передаточне число редуктора 35 (Gr),
- або множенням швидкості руху транспортного засобу V на встановлений коефіцієнт перетворення.

Електрична потужність на заряд/розряд Pb^* визначається на основі поточного стану заряду (SOC) акумулятора 50 та ступеня натискання акселератора (Acc).

Вибір режиму роботи за пріоритетами: економія або високий момент

На наступному етапі ($S120$) процесор ЦП 72 перевіряє, чи наявний запит на високий крутний момент.

Якщо пріоритет високого моменту відсутній ($S120: Ni$), система обирає криві з пріоритетом економії пального як основні обмеження для керування двигуном (етап $S130$).

Якщо запит високого моменту присутній (S120: Так), система переключається на криві роботи з пріоритетом високого крутного моменту (етап S140).

На рис. 3.5 і 3.6 наведено приклади таких кривих залежно від того, який тип упорскування використовується — прямий (клапани 125) або портовий (клапани 126).

На рис. 3.5 представлено криві для режимів роботи з прямим упорскуванням у канал.

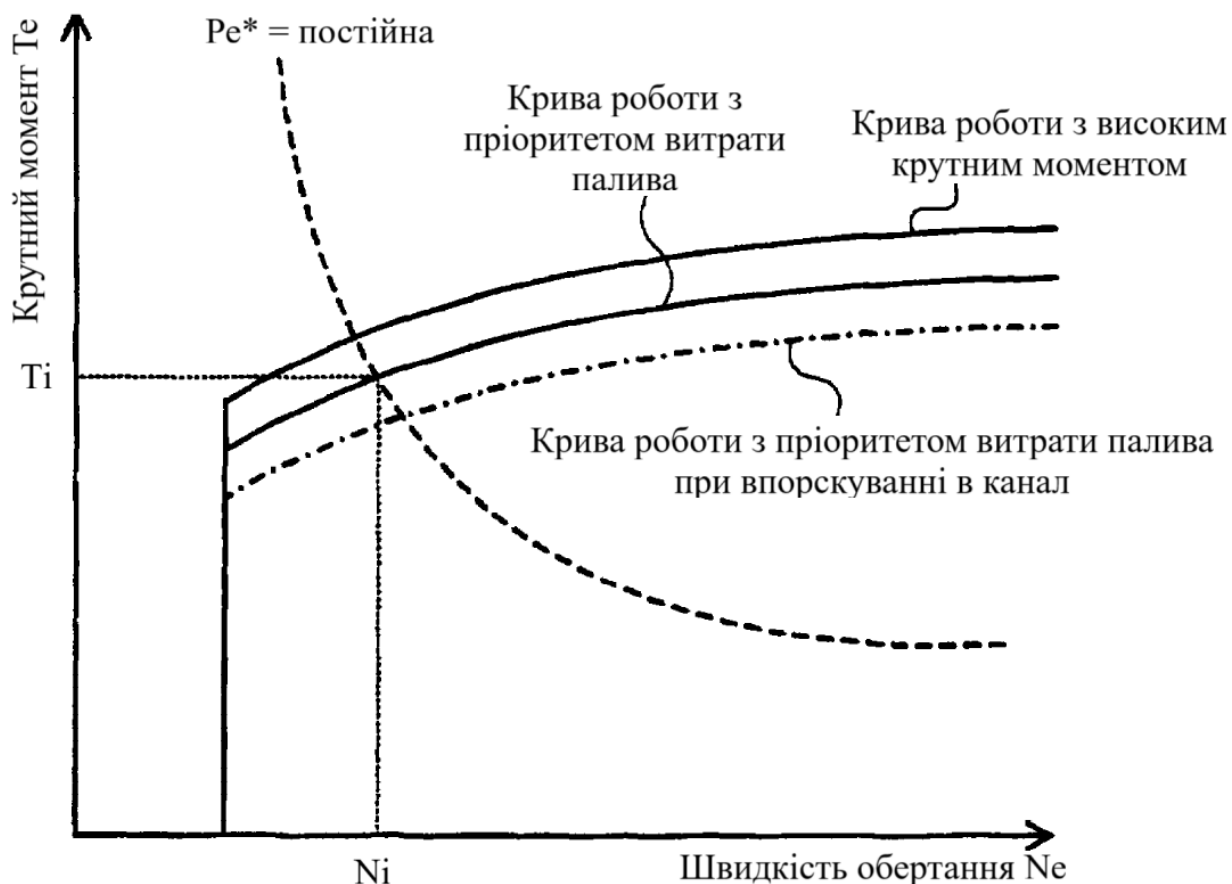


Рисунок 3.5 – Залежності для режимів роботи з прямим впорскуванням у канал

На рис. 3.6 представлено приклади кривих для режимів портового (канального) упорскування.

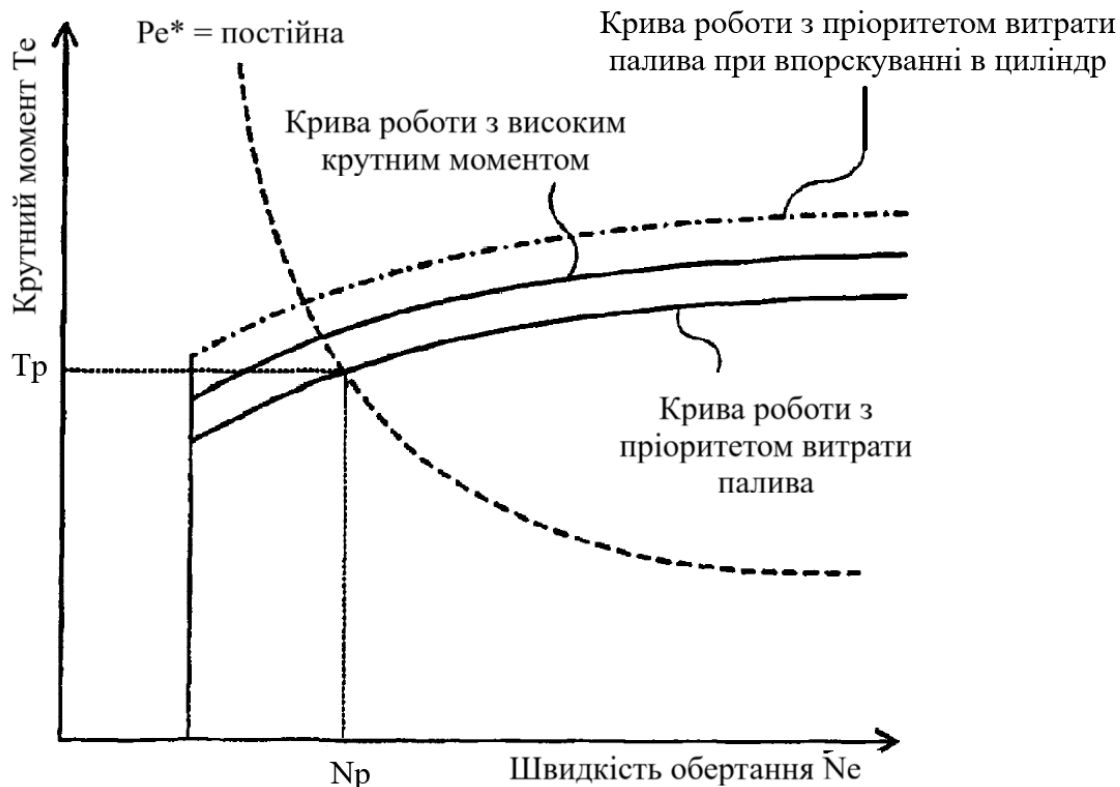


Рисунок 3.6 – Залежності для режимів роботи з прямим впорскуванням у циліндр

Штрихпунктирні лінії на рисунках показують, як криві зміщуються при використанні альтернативного типу впорскування.

Добре видно, що:

- криві високого крутного моменту завжди знаходяться вище, ніж криві, оптимізовані під мінімальну витрату пального;
- пряме впорскування забезпечує краще наповнення циліндрів повітрям, ніж портове, тому криві для впорскування в циліндр лежать вище, ніж відповідні криві для впорскування у впускний канал.

Це і враховується при виборі режиму роботи.

Розрахунок режимів для впорскування в циліндр (125) та у впускний канал (126)

Після встановлення робочих кривих ЦП 72:

- задає швидкість обертання N_i та момент T_i для режиму прямого впорскування (етап S150);

- задає швидкість N_r та момент T_r для режиму портового впорскування (етап S160).

На рис. 3.5 та 3.6 показано, як визначаються ці параметри:

в обох випадках точка роботи визначається перетином робочої кривої (економія або високий момент) з кривою постійної потужності Re^* .

На рис. 3.7 наведено коригувальну схему, яка демонструє динамічний взаємозв'язок між крутним моментом і швидкостями обертання окремих елементів комбінованого механізму розподілу потужності. На схемі зображено три осі:

- ліва вісь "S" — швидкість обертання сонячної шестерні 31 (що дорівнює швидкості N_{m1} електродвигуна MG1);
- середня вісь "C" — швидкість обертання водила 34 (що відповідає швидкості N_e обертання двигуна 22);
- права вісь "R" — швидкість обертання кільцевої шестерні 32, тобто швидкість N_r вала 32а.

Як зазначено раніше, на основі швидкості N_r , цільової швидкості N_e^* двигуна та передаточного числа p механізму 30 ЦП 72 обчислює цільову швидкість N_{m1}^* електродвигуна MG1 згідно з рівнянням (2). Після цього формується команда на крутний момент T_{m1}^* , яка забезпечує обертання MG1 з потрібною швидкістю N_{m1}^* .

Таке керування MG1 (за швидкістю N_{m1}^* і моментом T_{m1}^*) необхідне для того, щоб двигун 22 працював на цільовій частоті обертання N_e^* . У рівнянні (3) наведено закон керування з негативним зворотним зв'язком, де коефіцієнт КР відповідає пропорційній складовій, а КІ — інтегральній.

На правій осі "R" дві жирні вертикальні стрілки позначають:

- механічний крутний момент, що передається на вал 32а двигуном 22 при роботі на режимі N_e^* та T_e^* ;
- крутний момент T_{m2}^* , який подається на той самий вал електродвигуном MG2 через редуктор 35.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- цільовий крутний момент T_{e^*} і коефіцієнт змішування впорскування k — у ЕБУ 24 двигуна;
- команди крутного моменту T_{m1^*} і T_{m2^*} — у ЕБУ 40, що керує електродвигунами MG1 та MG2 (етап S220).

На цьому підпрограма керування, представлена на рис. 3, завершується.

Робота ЕБУ двигуна та ЕБУ електродвигунів після отримання команд ЕБУ 24 двигуна виконує такі функції:

- керування подачею пального через форсунки 125 (пряме впорскування) і 126 (портове впорскування) відповідно до коефіцієнта k ;
- коригування кута та енергії запалювання;
- регулювання положення дросельної заслінки;
- забезпечення роботи двигуна 22 з необхідною швидкістю N_{e^*} та крутним моментом T_{e^*} .

Таким чином, двигун працює у строго заданому режимі, узгодженому з розрахунковою необхідною потужністю транспортного засобу.

ЕБУ 40 електродвигунів виконує такі функції:

- керує силовими транзисторами інверторів 41 і 42;
- забезпечує подачу команд MG1 і MG2 на рівні заданих крутних моментів T_{m1^*} та T_{m2^*} ;
- контролює роботу електроприводів відповідно до режиму, визначеного гібридним контролером 70.

У результаті обидва електродвигуни працюють синхронно з ДВЗ, забезпечуючи потрібний розподіл механічної та електричної потужності в режимах прискорення, тяги, рекуперації та гальмування.

Згідно дослідних даних при використанні зазначеної системи управління питома ефективна витрата палива зменшується на 1% (в нашому випадку на 3 г/(кВт×год) – з 306 до 303 г/(кВт×год)).

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Мета дослідження полягає в аналітичному обґрунтуванні економічної доцільності введення в експлуатацію вдосконаленої системи управління.

У таблиці 4.1 приведені техніко-економічні показники двигуна 4Ч8,75/8,31 (2.0 DURATEC TI-VCT) з штатними та модернізованими форсунками.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники двигуна

Найменування	Позначення	Розмірність	Базовий двигун	Спроектований двигун
Потужність	N_e	кВт	115	115
Частота обертання	n	хв^{-1}	5600	5600
Діаметр циліндра, м	D	м	0,0875	0,0875
Хід поршня, м	S	м	0,0831	0,0831
Питома витрата палива	g_{ep}	кг/кВт·год	0,306	0,303
Механічний ккд	η_m	-	0,777	0,777
Питома витрата масла	g_m	кг/кВт·год	0,0022	0,0022
Ціна двигуна	Π	грн	600000	630000
Ціна палива	$\Pi_{\text{п}}$	грн/кг	60	60
Ціна масла	Π_m	грн/кг	50	50
Час роботи за рік	t	год	800	800
Число контрольних ремонтів	η	-	1	1
Сумарний коефіцієнт по капітальних ремонтах	ε_{min}	-	1,1	1,1
Коефіцієнт частини вартості роботи	b	-	0,05	0,05

Коефіцієнт використання потужності	K_{Π}	-	0,85	0,85
Коефіцієнт частини вартості капітального ремонту	$K_{к.р.}$	-	0,3	0,3
Ресурс двигуна до першого перебирання	$t_{пер}$	год	30000	30000
Ресурс двигуна до капітального ремонту	$t_{к.р.}$	год	100000	100000
Нормативний коефіцієнт порівняння економічної ефективності	E	-	0,15	0,15

Оцінювання економічної ефективності здійснюється відповідно до вимог методичних рекомендацій.

Зазначений підхід використовується для вирішення таких завдань:

1. Техніко-економічне обґрунтування вибору оптимальних варіантів виготовлення та впровадження нових технічних рішень.
2. Відображення показників економічності та ефективності у встановлених нормах і нормативних документах.
3. Розрахунок фактичного рівня ефективності застосування нової техніки в умовах експлуатації.

Розрахунок економічної ефективності

1) Річна продуктивність

$$N = K_{\Pi} \cdot N_e \cdot t, \text{ кВт*г за рік}$$

2) Термін служби

$$T = \frac{t_{кр}}{t}, \text{ рік}$$

3) Річні поточні витрати на паливо

$$Z_n = N \cdot C_n \cdot g_e, \text{ грн}$$

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4) Річні поточні витрати на масло

$$З_{\text{м}} = g_{\text{м}} \cdot N \cdot Ц_{\text{м}} \cdot 10^{-3}, \text{грн}$$

5) Річні витрати на поточний ремонт

$$З_{\text{н.р}} = \frac{b \cdot t \cdot Ц}{t_{\text{пер}}}, \text{грн}$$

6) Річні поточні витрати на капітальний ремонт

$$З_{\text{к.р}} = \frac{K_{\text{к.р}} \cdot t \cdot Ц}{t_{\text{к.р}} \cdot \varepsilon_{\text{min}}}, \text{грн}$$

7) Річний економічний ефект у споживача

$$U_1 = \underline{З_{\text{н}} + З_{\text{м}} + З_{\text{к.р}} + З_{\text{н.р}}}, \text{грн}$$

8) Річний економічний ефект у споживача від використання модернізованого двигуна.

$$E_{\text{к}} = \left[Ц_{\delta} \cdot \frac{N_{\epsilon}}{N_{\delta}} \cdot \left(\frac{\frac{1}{T_{\delta}} + E_{\delta}}{\frac{1}{T_{\epsilon}} + E_{\epsilon}} \right) + \frac{U_1^{1\delta} - U_1^{\epsilon}}{\frac{1}{T_{\epsilon}} + E_{\epsilon}} \right] \cdot Ц_{\epsilon}, \text{грн}$$

$$\text{де } U_1^{1\delta} = \frac{N_{\epsilon}}{N_{\delta}} \cdot U_1^{\delta}$$

9) Час окупності модернізованого двигуна

$$T_{\text{окуп}} = \frac{\Delta K}{\Delta S}, \text{років}$$

де ΔK – додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна,

ΔS – річна економія при експлуатації модернізованого двигуна

$$\Delta S = З_{\text{н}}^{\delta} - З_{\text{н}}^{\epsilon} + З_{\text{м}}^{\delta} - З_{\text{м}}^{\epsilon} + З_{\text{н.р}}^{\delta} - З_{\text{н.р}}^{\epsilon} + З_{\text{к.р}}^{\delta} - З_{\text{к.р}}^{\epsilon}, \text{грн}$$

Результати розрахунку економічної ефективності представлені в табл. 4.2.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку економічної ефективності

Найменування	Позначення	Розмірність	Базовий двигун	Спроектований двигун
Річна продуктивність	N	кВт·год/рік	78200,0	78200,0
Термін служби	T	рік	10,0	10,0
Річні поточні витрати на паливо	Z_p	грн	1435752,0	1421676,0
Річні поточні витрати на масло	Z_m	грн	8602,0	8602,0
Річні витрати на поточний ремонт	$Z_{п.р}$	грн	800,0	840,0
Річні витрати на капітальний ремонт	$Z_{к.р}$	грн	1309,1	1374,5
Річний економічний ефект у споживача	U_1	грн	1446463,1	1432492,5
	U_1^{16}	грн	1446463,1	-
Річний економічний ефект у споживача від використання спроектованого двигуна	E_k	грн	34479,4	
Додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна	ΔK	грн	30000,0	
Річна економія при експлуатації модернізованого двигуна	ΔS	грн	13970,5	
Час окупності модернізованого двигуна	$T_{окуп}$	рік	2,15	
		місяць	25,77	

Річний економічний ефект спроектованого двигуна в порівнянні з базовим двигуном за рахунок використанням вдосконаленої системи управління у розмірі 34479,4 грн. Заміна базового двигуна окупиться приблизно за 2,15 роки.

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Забезпечення охорони праці під час обслуговування, ремонту та діагностики систем управління бензинових автомобільних двигунів є одним із пріоритетних напрямів професійної діяльності персоналу автосервісу, інженерів-діагностів та технічних фахівців у галузі автомобілебудування. З огляду на стрімкий розвиток електронних систем керування, зростання рівня автоматизації та ускладнення конструкції двигунів внутрішнього згоряння, вимоги до безпечної організації робіт постійно підвищуються. Сучасний бензиновий двигун із системою управління типу ECU/EMS (Electronic Control Unit / Engine Management System) є складною електромеханічною системою, що інтегрує сенсори, виконавчі механізми, високовольтні контури запалювання, електронні дроселі, системи адаптації, діагностики та бортового контролю. Робота з такою технікою пов'язана з дією значної кількості потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які потребують чіткого дотримання вимог нормативно-правових актів з охорони праці [8].

Одним із головних небезпечних факторів під час робіт з системами керування є підвищена напруга в електричних колах. Системи запалювання сучасних бензинових двигунів формують імпульси з напругою 25–45 кВ, що є смертельно небезпечними у разі дотику. Навіть короткочасний імпульс може спричинити електротравму, м'язові судоми, порушення серцевого ритму або непрямі травми, викликані раптовою реакцією тіла. Тому перед початком будь-яких робіт з високовольтними елементами необхідно виконати повне знеструмлення автомобіля, від'єднання акумуляторної батареї та контрольну перевірку відсутності напруги на контактах катушок запалювання й проводах. Забороняється торкатися до свічкових проводів або катушок під час роботи двигуна. Використання інструменту зі зручною ізолюваною рукояткою,

					<i>KPM.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

діелектричних рукавиць та дотримання сухості рук і поверхонь є обов'язковими заходами щодо мінімізації ризиків.

Не менш небезпечним фактором є вплив паливних парів та рідкого бензину. Паливна система бензинового двигуна складається з насоса, фільтрів, магістралей, паливної рампи та електромагнітних форсунок. Системи розподіленого впорскування працюють при тиску 3–6 бар, тоді як системи безпосереднього впорскування бензину (GDI) функціонують при надвисоких тисках до 200–350 бар. Під час демонтажу елементів високого тиску розбризкування палива під тиском може спричинити травми, опіки, отруєння або займання. Обов'язковим етапом робіт є контрольоване стравлювання тиску в системі. Проводити цю операцію необхідно лише згідно з інструкцією виробника, використовуючи спеціальні пристрої або діагностичне обладнання. Розміщення поблизу відкритих джерел вогню, іскроутворюючих інструментів та нагрівальних приладів категорично заборонено. Під час робіт із системою упорскування необхідно забезпечити надійну вентиляцію приміщення, оскільки пари бензину мають високу токсичність та вибухонебезпечність у концентрації понад 1,2 % у повітрі.

Особливу увагу необхідно приділяти роботі з електронними компонентами системи керування. Більшість сучасних ECU та датчиків виготовляються із застосуванням мікроелектроніки, чутливої до електростатичного розряду (ESD). Навіть розряд у 300–500 В, який людина не відчуває, здатний пошкодити електронні компоненти. Тому у всіх випадках робота з відкритими блоками керування має виконуватися на антистатичному килимку, з використанням антистатичного браслета та відповідних засобів попередження накопичення зарядів на одязі та тілі працівника. Забороняється торкатися до контактних колодок, мікросхем, резисторних матриць і сенсорних елементів пальцями. Очищення електронних плат має проводитись із застосуванням ізопропілового спирту чи інших безпечних електронних очищувачів.

					<i>KPM.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У роботах із системами запалювання та управління дросельною заслінкою існує ризик самовільного включення виконавчих механізмів. Електронний дросель може автоматично відкриватися або закриватися під час проведення діагностики, що створює ризик травмування пальців або рук працівника. Тому перед виконанням робіт необхідно переконатися у відсутності зовнішніх команд керування, вимкнути запалювання та, за потреби, заблокувати привід дросельного механізму. Робота з високовольтними котушками запалювання повинна проводитись тільки після повного охолодження двигуна, щоб уникнути опіків від контакту з гарячими елементами головки блока циліндрів.

Важливим аспектом безпеки є правильна організація робочого простору. Робоча зона має бути рівною, не захаращеною, забезпеченою достатнім штучним та природним освітленням. Слід уникати розміщення інструментів у місцях, де вони можуть упасти або потрапити в зону обертання шківів, ременів чи вентилятора. Підлога повинна бути вільною від розливів масла або бензину, а пролиті рідини необхідно негайно прибирати за допомогою абсорбентів. У робочому приміщенні мають бути вогнегасники (порошкові чи вуглекислотні), аптечка, засоби індивідуального захисту (щитки, окуляри, респіратори, рукавички), а також система вентиляції або витяжної фільтрації.

Діагностика систем управління бензинових двигунів часто проводиться на працюючому двигуні, що додає додаткових ризиків. Обертові елементи — шків, ремені ГРМ і навісного обладнання, вентилятор, генератор — можуть завдати серйозних травм при випадковому потраплянні одягу, волосся або інструменту. Тому робота поруч із рухомими частинами повинна здійснюватися безпосередньо у захисному одязі, що щільно прилягає до тіла, без довгих рукавів, шарфів або прикрас. Забороняється нахилитися над двигуном під час різкого підвищення обертів або роботи з підключеним

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

діагностичним обладнанням, якщо проводи можуть зачепитись за рухомі елементи.

Додаткові небезпеки виникають під час роботи з паливними дрібнодисперсними аерозолями, що утворюються при очищенні форсунок або використанні інжекторних промивок. Ці аерозолі можуть спричинити подразнення органів дихання, алергічні реакції та накопичуватися у робочому просторі. Їх використання допускається лише при наявності профільованої вентиляції та застосуванні фільтрувальних респіраторів. Використання побутових засобів очищення або невідомих хімічних реагентів заборонено через невідому реакцію з гумовими, полімерними та металевими елементами паливної системи.

Особливої уваги потребує програмування та оновлення прошивки ECU. Під час перепрограмування блоку відбувається передавання даних через інтерфейси OBDII, CAN, K-Line або Ethernet. Розрив живлення під час цього процесу може призвести до некерованого стану двигуна, повного виходу з ладу блока, некоректної подачі палива та виникнення передумов до аварійної ситуації. Забороняється виконувати оновлення ПЗ без стабілізатора напруги або зарядного пристрою, що підтримує напругу 12–14 В під час усього процесу. Працівник повинен використовувати лише сертифіковане програмне забезпечення та інтерфейси, які мають захист від короткого замикання, перенапруги та зворотної полярності.

Під час ремонту датчиків системи управління двигуном існує ризик механічного травмування. Датчики кисню, детонації, температури охолоджувальної рідини, масової витрати повітря (MAF), абсолютного тиску (MAP) часто мають крихкі керамічні або плівкові елементи. Їх пошкодження може супроводжуватись утворенням гострих уламків та різким викидом часток. Усі роботи з такими датчиками повинні проводитись у захисних окулярах і рукавичках. Демонтаж нагрівальних елементів системи запалювання або каталізатора має відбуватися лише після повного

					<i>КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

охолодження, оскільки температура робочих елементів може досягати 700–900 °С.

Важливим компонентом охорони праці є психофізіологічний стан працівника. Робота з електронікою, високою напругою, токсичними речовинами та складними механізмами потребує високої концентрації уваги, повної відсутності втоми та стресових факторів. Працівнику забороняється виконувати обслуговування двигуна в стані хвороби, під дією медикаментів, що знижують швидкість реакції, або в умовах підвищеного психоемоційного навантаження. Також обов'язковими є періодичні медичні огляди та перевірки професійної придатності.

Комплекс заходів охорони праці повинен відповідати чинним нормативно-правовим документам, серед яких: Закон України «Про охорону праці», Кодекс цивільного захисту України, ДСТУ ISO 45001 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці», правила пожежної безпеки для підприємств автотранспортної галузі, інструкції з експлуатації діагностичного обладнання та регламентні вимоги автовиробників. Відповідальність за дотримання вимог лежить як на роботодавці, так і на працівникові, який зобов'язаний виконувати всі інструкції, проходити навчання та інструктажі, знайомитися з особливостями конструкції та принципу дії систем, з якими він працює.

Таким чином, забезпечення охорони праці при обслуговуванні, ремонті й діагностиці систем управління бензинових автомобільних двигунів є комплексним процесом, що охоплює технічні, організаційні, електробезпекові, санітарно-гігієнічні та навчально-профілактичні заходи. Урахування усіх видів ризиків, постійне вдосконалення кваліфікації персоналу, застосування сучасних засобів індивідуального та колективного захисту, а також контроль стану виробничого середовища є запорукою безпечної, надійної та професійної роботи зі складними електронними системами керування сучасних бензинових автомобілів.

					<i>KPM.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Подальший розвиток сучасних автомобільних електронних систем управління бензиновими двигунами значно ускладнює профільні вимоги до безпеки виконання робіт. Окрім механічних та електричних небезпек, які традиційно супроводжують ремонт і технічне обслуговування автомобілів, збільшується частка ризиків, пов'язаних із комп'ютерними технологіями, мережевими інтерфейсами та цифровими компонентами. Це потребує від технічного персоналу не лише високої технічної підготовки, а й здатності прогнозувати можливі загрози, що виникають унаслідок втручання в складні електронні комплекси, які забезпечують роботу двигуна.

Поряд із традиційними небезпечними виробничими факторами важливу роль відіграють нові ризики, пов'язані із застосуванням систем адаптивного управління, штучного інтелекту в блоках керування, алгоритмів самодіагностики та автоадаптації (self-learning). Такі ECU здатні коригувати роботу двигуна в реальному часі, інколи навіть під час виконання сервісних робіт, що створює додаткову потенційну небезпеку. Неправильно інтерпретований сигнал, помилка калібрування або некоректна команда під час підключення діагностичного обладнання можуть привести до самовільного запуску вентилятора охолодження, відкриття дроселя або активації електричного паливного насоса. Усі ці ситуації становлять загрозу для життя й здоров'я працівника, особливо в умовах обмеженого простору моторного відсіку. Тому перед початком робіт необхідно не лише знеструмити систему, але й переконатися у відключенні всіх мережкових інтерфейсів, здатних передавати команди.

Важливою складовою запобігання аварійним ситуаціям є належна оцінка ризиків перед початком робіт. На підприємствах автосервісного профілю має бути розроблена і впроваджена система оцінювання небезпечних факторів згідно з положеннями ДСТУ ISO 31000. Перед проведенням діагностики чи ремонту працівник повинен здійснити візуальну оцінку технічного стану автомобіля, визначити ступінь забруднення системи,

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

наявність слідів витоків, сторонніх запахів, механічних пошкоджень, а також оцінити можливість виникнення прихованих небезпек. Зокрема, особливу увагу потрібно приділяти стану ізоляції проводів, цілісності роз'ємів та герметичності паливних магістралей.

Під час робіт під автомобілем або в зоні підйомника слід дотримуватися особливих вимог безпеки. Застосування гідравлічних підйомників або домкратів супроводжується ризиком падіння транспортного засобу. Перед підйомом потрібно перевірити справність фіксаторів, підпірок, опорних лап та гідравлічної системи. Забороняється перебувати під автомобілем, що тримається лише на домкраті, без додаткових підставок. Під час робіт із датчиками коліс, ABS або датчиками швидкості вихідного валу коробки передач можливе випадкове повертання коліс, що становить додаткову загрозу.

Важливо враховувати й вимоги щодо безпечного транспортування та зберігання горючих і легколетких речовин. Усі паливно-мастильні матеріали, очищувачі, контактні спреї та хімічні промивки повинні зберігатися у герметичних контейнерах у спеціально відведених приміщеннях з обмеженим доступом. Забороняється залишати відкриту тару з бензином або розчинниками в зоні обслуговування двигуна. Зберігання має здійснюватися відповідно до вимог пожежної безпеки, з урахуванням класу небезпеки речовин. Працівники повинні знати карти хімічної стійкості матеріалів, правила поводження зі шкідливими та горючими рідинами, а також правила першої допомоги у випадку хімічного ураження.

Робота з інструментом, що використовується під час ремонту електронних систем управління, також регламентується вимогами охорони праці. Усі інструменти мають бути справними, очищеними, правильно підібраними за розміром та оснащеними ізольованими ручками, якщо вони використовуються поблизу електричних або високовольтних компонентів. Забороняється використовувати пошкоджений або зношений інструмент,

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		63

особливо в умовах обмеженого доступу, де неправильне зусилля або ковзання інструмента може спричинити порізи, забиття чи інші травми. Правила ергономіки також відіграють важливу роль: неправильне положення тулуба, тривале навантаження на спину чи зап'ястя може викликати професійні захворювання, особливо у працівників із великим стажем. Тому на автосервісах повинна застосовуватися система ротації робочих завдань.

Особливої уваги потребує робота з високотемпературними елементами двигуна. Під час діагностики датчиків температури, роз'єднання фішок на корпусі дросельного вузла, зняття котушок запалювання або свічок існує ризик доторку до поверхонь, нагрітих до температури 150–300 °С. Каталітичний нейтралізатор, елементи випускного колектора, турбокомпресор у бензинових турбомоторах можуть нагріватися до ще вищих температур. Опіки — один із найпоширеніших видів травм серед автомеханіків. Тому перед виконанням робіт необхідно забезпечити достатній час охолодження двигуна, а також використовувати термостійкі рукавички і захисні накладки.

Під час діагностики та ремонту системи керування важливо враховувати можливість утворення вуглецевих відкладень і токсичного пилу. Очищення дросельних заслінок, клапана EGR або випускного колектора супроводжується виділенням частинок нагару, що містять канцерогенні з'єднання. Для уникнення ризиків працівник повинен використовувати респіратори класу захисту FFP2 або FFP3, а роботи виконувати в зоні з локальною вентиляцією. Застосування стисненого повітря для очищення без засобів захисту є небезпечним, оскільки дрібний пил може потрапити у дихальні шляхи.

Окремої уваги заслуговують роботи зі складними сенсорними системами, що використовуються в сучасних бензинових двигунах. Датчики детонації мають п'єзоелектричні елементи, чутливі до ударів, тому неправильне поводження може призвести до їх руйнування та

					<i>КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ</i>	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

непрогнозованої поведінки двигуна в подальшому. Датчики масової витрати повітря містять тонкоплівкові або термоанемометричні елементи, надзвичайно чутливі до забруднення і статичних розрядів. Датчик положення колінчастого валу працює за принципом індуктивного або холлівського ефекту, а його пошкодження під час демонтажу може повністю зупинити запуск двигуна. Кожен із цих сенсорів повинен обслуговуватися згідно з рекомендаціями виробника, із застосуванням спеціальних інструментів і методик.

Сучасні системи управління двигуном інтегровані з великою кількістю допоміжних систем: системою стабілізації, електронним дроселем, автоматичною трансмісією, системою контролю викидів, антиблокувальною системою гальм, адаптивними сервоприводами, кліматичними установками та іншими. Під час діагностики необхідно враховувати можливість взаємного впливу систем. У разі некоректного відключення одного компонента може виникнути збій у роботі іншого. Наприклад, відключення датчика дросельної заслінки може перешкоджати роботі системи стабілізації, а втручання в CAN-шину може призвести до збоїв у роботі блоку ABS чи подушок безпеки. Всі ці фактори накладають високі вимоги до техніки безпеки та кваліфікації працівника.

Під час використання діагностичних стендів, мотор-тестерів, осцилографів важливо дотримуватися норм електромагнітної сумісності та правильності підключення щупів. Неправильне заземлення стенда або підключення до високовольтної частини системи запалювання може призвести до пробоя ізоляції, виходу з ладу обладнання або ураження оператора. Забороняється використання саморобних адаптерів або проводів невідомого походження, оскільки вони можуть не витримати робочої напруги та струму.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Серед важливих організаційних заходів охорони праці особливе значення має контроль технічного стану приміщень, вентиляційних систем, електрощитів, стану заземлення, справності світильників, відсутності оголених провідників та загальної пожежної безпеки. Робочі зони повинні бути маркованими, обладнаними інформаційними табличками, інструкціями з охорони праці й планами евакуації. Працівники мають проходити обов'язкові інструктажі: вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий. Регулярне навчання дозволяє підтримувати високий рівень безпеки та попереджати типові помилки, які виникають у процесі експлуатації.

Таким чином, безпечне виконання робіт при обслуговуванні та ремонті систем управління бензинових автомобільних двигунів вимагає поєднання технічної грамотності, чіткого дотримання інструкцій, розуміння принципів роботи електронних систем та постійного контролю виробничого середовища. Тільки комплексність підходу, що охоплює технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та інформаційні заходи, здатна забезпечити мінімізацію ризиків і гарантувати високий рівень безпеки працівника під час взаємодії зі складними інтелектуальними системами сучасних автомобільних двигунів.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексний аналіз режимів роботи автомобільного бензинового двигуна 4С8,75/8,31 (2.0 Duratec Ti-VCT) та обґрунтовано шляхи підвищення його паливної економічності й експлуатаційної ефективності шляхом удосконалення системи керування подачею палива в умовах роботи у складі гібридної силової установки.

У ході дослідження розглянуто конструкційні особливості двигуна, проаналізовано сучасні системи керування бензиновими двигунами – від MPI-та GDI-систем до технологій турбонаддуву, VVT/VVL та алгоритмів інтеграції з гібридними трансмісіями. Показано, що розвиток електронних систем керування визначає реальні характеристики тяги, економічності та токсичності в сучасних ДВЗ. Особливу увагу приділено комбінованій системі впорскування, яка поєднує подачу палива як через форсунки прямого впорскування, так і через форсунки портового типу. Встановлено, що коефіцієнт розподілу палива між цими двома каналами (k) суттєво впливає на процес сумішоутворення, теплове навантаження на камеру згоряння, рівень токсичності вихлопу, ефективність використання енергії та стабільність роботи силового агрегату у різних режимах навантаження.

На основі опрацьованої літератури та аналізу алгоритмів керування гібридних силових установок сформовано модель оцінки вимог до оптимальних режимів роботи двигуна в power-split-конфігурації, де ДВЗ, електродвигуни MG1/MG2 та механізм розподілу потужності працюють як єдина керована система. Показано, що найбільш ефективною є стратегія роботи, за якої двигун функціонує переважно у ділянках підвищеного термічного ККД, а електрична частина компенсує неефективні режими та динамічні піки навантаження.

Визначено, що оптимізація подачі палива можлива завдяки вибору таких режимів:

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- використання портового впорскування на малих і середніх навантаженнях для зменшення утворення твердих часток і покращення гомогенізації суміші;
- застосування прямого впорскування при високих навантаженнях для підвищення наповнення циліндрів та забезпечення антидетонаційної стійкості;
- комбінованого впорскування у перехідних режимах, коли необхідно одночасно забезпечити економічність і динамічну стабільність.

У роботі також виконано оцінку умов безпечної експлуатації, технічного обслуговування й ремонту систем управління двигуна та гібридної силової установки.

У результаті проведених досліджень підтверджено, що запропоноване удосконалення системи керування – шляхом адаптивного використання подвійного впорскування та режимів оптимізації розподілу потужності – дозволяє:

- підвищити паливну економічність двигуна;
- покращити крутномоментні характеристики в динамічних режимах;
- знизити теплове навантаження та втрати на деталях ЦПГ;
- забезпечити відповідність екологічним вимогам та зменшити утворення твердих часток;
- підвищити плавність роботи гібридної трансмісії й узгодження ДВЗ з електричною частиною.

Отримані результати можуть бути використані для подальшої оптимізації алгоритмів керування, калібрування електронних блоків та розробки модернізованих гібридних систем, а також як основа для подальших експериментальних досліджень процесів сумішоутворення у комбінованих бензинових двигунах.

					КРМ.142.6221м.25.06.00.ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Ford_Duratec_engine.
2. Артюх О. М., Дударенко О. В., Кузьмін В. В., Сосик А. Ю., Щербина А. В. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 264 с.
3. Шапко В. Ф., Шапко С. В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. Харків : Точка, 2016. – 232 с.
4. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни : підручник. Київ : Арістей, 2006. – 476 с.
5. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах / за редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. Т. 1: Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. 493 с.
6. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах / за редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. Т. 6: Надійність ДВЗ. 421 с.
7. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.
8. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.