

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

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА З ПОСТІЙНИМ ТА ПЕРЕМІННИМ ТИСКОМ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи




Аркадій ПРОСКУРІН

Здобувач освіти

АНТОН БОКАЛО

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

« » 20 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Бокало Антон Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз ефективності використання системи впорскування палива з постійним та перемінним тиском автомобільного двигуна

2. Керівник роботи к.т.н., доц. Проскурін А.Ю.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “___” _____ 20__ року № _____

3. Строк подання здобувачем роботи _____ 20__ року № _____

4. Вихідні дані до роботи Двигун – 4СН8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost); паливо – бензин; потужність двигуна – 209 кВт, частота обертання колінчастого валу – 5600 хв⁻¹

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *Особливості застосування двигуна 4СН8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost) на автомобільному транспорті; Сучасні напрямки вдосконалення систем впорскування автомобільних двигунів; Визначення ефективності системи впорскування палива з постійним та перемінним тиском для двигуна 4СН8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost); Забезпечення вимог охорони праці; Економічне обґрунтування*

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вид двигуна 4ЧН8, 7/9, 4; Загальна схема роботи двигуна; Схема системи
подачі палива у двигун; Блок-схеми способів роботи елементів паливної системи;
Загальні характеристики роботи паливної системи

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)


(підпис)

Антон БОКАЛО

(прізвище та ініціали)

Аркадій ПРОСКУРІН

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення роботи паливної системи автомобільного двигуна шляхом використання системи впорскування з постійним та перемінним тиском. Розглянуто економічне обґрунтування. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 69 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 9 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: автомобільний двигун, бензин, регулювання, паливний насос.

The qualification work presents a set of measures to improve the performance of the fuel system of an automobile engine by using a constant and variable pressure injection 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. 9 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1.

Key words: automobile engine, gasoline, regulation, fuel pump.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Особливості застосування двигуна 4ЧН8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost) на автомобільному транспорті.....	5
Розділ 2. Сучасні напрямки вдосконалення систем впорскування автомобільних двигунів.....	20
Розділ 3. Визначення ефективності системи впорскування палива з постійним та перемінним тиском для двигуна 4ЧН8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost).....	28
Розділ 4. Економічне обґрунтування.....	53
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	57
Висновки.....	67
Список використаної літератури.....	69
Додаток А. Загальний вид двигуна 4ЧН8,7/9,4.....	70
Додаток Б. Загальна схема роботи двигуна.....	71
Додаток В. Схема системи подачі палива у двигун.....	72
Додаток Г. Блок-схеми способів роботи елементів паливної системи.....	73
Додаток Д. Загальні характеристики роботи паливної системи.....	74

ВСТУП

Системи впорскування пального визначають ефективність роботи сучасних автомобільних двигунів, рівень їх економічності та екологічності. Постійне посилення міжнародних норм щодо викидів шкідливих речовин потребує надточного керування процесом подачі й розпилення палива, що робить удосконалення інжекторів і систем керування особливо актуальним. Розвиток альтернативних видів палива – біодизеля, етанолу, синтетичних палив, а також поширення гібридних силових установок – ставить нові вимоги до конструкції та надійності систем упорскування. Вони мають забезпечувати стабільне згоряння за різних фізико-хімічних властивостей палива та працювати в умовах підвищених тисків. Отже, дослідження систем впорскування залишаються актуальним напрямом двигунобудування, адже саме від їх удосконалення залежить рівень енергоефективності, екологічності й надійності сучасних автомобільних двигунів.

Мета даної роботи – розробити умови по поліпшенню параметрів роботи паливної системи двигуна 4СН8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost) шляхом вдосконалення системи безпосереднього впорскування.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Аналіз систем впорскування автомобільних двигунів.
2. Вдосконалення системи безпосереднього впорскування.
3. Оцінка запропонованих рішень, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об’єкт дослідження – паливна система автомобільного двигуна.

Предмет дослідження – характеристики роботи паливної системи.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА 4ЧН8,7/9,4
(FORD 2.3L ECOBOOST) НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

EcoBoost – це серія бензинових двигунів з турбонаддувом з прямим впорскуванням, що виробляються компанією Ford і спочатку розроблялися спільно з FEV Inc. (нині FEV North America Inc.). Двигуни EcoBoost розроблені для забезпечення потужності та крутного моменту, що відповідають показникам атмосферних двигунів більшого об'єму (об'єму циліндрів), при цьому, за даними Ford, вони забезпечують на 20 % вищу паливну ефективність і на 15 % менше викидів парникових газів. Виробник вважає технологію EcoBoost менш затратною і більш універсальною, ніж подальший розвиток або розширення використання гібридних і дизельних двигунів. Двигуни EcoBoost широко представлені в лінійці автомобілів Ford [1].

Технологія турбонаддувних двигунів EcoBoost з прямим впорскуванням бензину (табл. 1) додає 128 патентів і патентних заявок до 4618 діючих і тисяч очікуючих патентів Ford у США. Частина витрат на розробку і виробництво в США була покрита за рахунок програми кредитування виробництва автомобілів з передовими технологіями Міністерства енергетики США на суму 5,9 млрд доларів.

Двигуни V6 EcoBoost збираються на заводі Cleveland Engine Plant No. 1 у Брук-Парку, штат Огайо. Двигуни 2,0-літрові I4 EcoBoost вироблялися на заводі Ford Valencia в Іспанії у 2009 році. Двигуни 1,6-літрові I4 EcoBoost збираються на заводі Ford Bridgend Engine Plant у Великій Британії. Менший 3-циліндровий двигун EcoBoost з робочим об'ємом 1000 куб. см виробляється як на заводі Ford Germany в Кельні, так і на заводі Ford Romania в Крайові.

До 2012 року компанія планувала виробляти 750 000 одиниць EcoBoost щорічно в США і 1,3 мільйона на світовому ринку. Ford очікував, що до 2013

					<i>KPM.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

року понад 90% його глобального модельного ряду автомобілів (включаючи Північну Америку) буде оснащено технологією двигунів EcoBoost. З моменту випуску двигуна до листопада 2012 року було продано 500 000 автомобілів Ford EcoBoost. [15]

Таблиця 1.1 – Сімейство двигунів EcoBoost

Назва	Сімейство	Об'єм	Рік виготовлення	Особливості
EcoBoost 1.0	Fox	999 см ³	2012 – наші дні	DOHC I3
Ti-VCT 1.1	Fox	1084 см ³	2017 – наші дні	DOHC I3
EcoBoost 1.5	Ford Sigma engine	1500 см ³	2014 – наші дні	DOHC I4
EcoBoost 1.5	Dragon	1497 см ³	2017 – наші дні	DOHC I3
EcoBoost 1.6	Ford Sigma engine	1596 см ³	2010 – наші дні	DOHC I4
EcoBoost 2.0	Mazda L engine	1999 см ³	2010–2014	DOHC I4
EcoBoost 2.0 twin scroll	Clean-sheet engine block	1999 см ³	2015 – наші дні	DOHC I4
EcoBoost 2.0		1995 см ³	2022 – наші дні	DOHC I4
EcoBoost 2.3	Mazda L engine	2261 см ³	2015–2024	DOHC I4
EcoBoost 2.3 "MPC"		2261 см ³	2024 – наші дні	DOHC I4
EcoBoost 2.7	Nano	2694 см ³	2015 – наші дні	DOHC V6
EcoBoost 3.0	Nano	2967 см ³	2016 – наші дні	DOHC V6
EcoBoost 3.5	Cyclone	3496 см ³	2010 – наші дні	DOHC V6

EcoBoost 1.0 (Fox)

Застосування:

1) 84 к.с. (63 кВт; 85 к.с.) при 6000 об/хв, 125 фунт-фут (170 Н·м) при 1400-3500 об/хв:

- Форд Фокус Mk4 2018–2019 років

2) 99 к.с. (74 кВт; 100 к.с.) при 4500-6000 об/хв, 125 фунт-фут (170 Н·м) при 1400-4000 об/хв:

- Ford Focus Mk3 2012–дотепер
- Форд С-Макс 2012–2019 років випуску
- Форд Б-Макс 2012–2017 років випуску

- Форд Фієста Mk6 2013–2023 років випуску
- Форд Екоспорт 2013–2022 років випуску
- 2014–дотепер Ford Transit Courier

3) 123 к.с. (92 кВт; 125 к.с.) при 6000 об/хв, 125 фунт-фут (170 Н·м) при 1400-4500 об/хв:

- Ford Focus Mk3 2012–дотепер
- Форд С-Макс 2012–2019 років випуску
- Форд Б-Макс 2012–2017 років випуску
- Форд Фієста Mk6 2013–2023 років випуску
- Форд Екоспорт 2013–2022 років випуску
- Форд Мондео Mk5 2013–2019 років випуску
- Ford Tourneo Courier 2023–дотепер
- Ford Transit Courier 2024–дотепер

4) 123 к.с. (92 кВт; 125 к.с.) при 6000 об/хв, 155 фунт-фут (210 Нм) при 1750 об/хв Двигун: 11,5 кВт (15,4 к.с.; 15,6 к.с.), 37 фунт-фут (50 Нм) двигун (MHEV)

- Форд Пума 2019–дотепер
- Форд Фієста Mk7 2020–2023 років випуску
- Ford Focus Mk4 2020–дотепер

5) 138 к.с. (103 кВт; 140 к.с.) при 6000 об/хв, 133 фунт-фут (180 Н·м) при 1500-5000 об/хв

- Форд Фієста Mk6 2014–2020 років випуску
- Форд Фокус Mk3 2014–2018 років випуску

6) 155 к.с. (114 кВт; 153 к.с.) при 6000 об/хв, 177 фунт-фут (240 Н·м) при 2500 об/хв, ступінь стиснення 10:1. Двигун: 11,5 кВт (15,4 к.с.; 15,6 к.с.), 37 фунт-фут (50 Н·м) (MHEV).

- Форд Пума 2019–дотепер
- Форд Фієста Mk7 2020–2023 років випуску
- Ford Focus Mk4 2020–дотепер

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

7) 170 к.с. (125 кВт; 168 к.с.) при 6000 об/хв, 183 фунт-фут (248 Н·м) при 3000 об/хв, ступінь стиснення 10:1. Двигун: 11,5 кВт (15,4 к.с.; 15,6 к.с.), двигун 37 фунт-фут (50 Н·м) (MHEV).

- Ford Puma ST 2019–дотепер

EcoBoost 1.5 (Dragon)

Застосування:

1) 148 к.с. (110 кВт; 150 к.с.) при 6000 об/хв, 177 фунт-фут (240 Н·м) при 1600-5000 об/хв

- Ford Focus Mk4 2018–дотепер

2) 180 к.с. (130 кВт; 180 к.с.) при 6000 об/хв, 177 фунт-фут (240 Н·м) при 1600-5000 об/хв

- Форд Фокус Mk4 2018–2023 років випуску

3) 180 к.с. (130 кВт; 180 к.с.) при 6000 об/хв, 199 фунт-фут (270 Н·м) при 3000 об/хв

- Ford Escape 2023–дотепер
- Ford Bronco Sport 2025–дотепер

4) 181 к.с. (135 кВт; 184 к.с.) при 6000 об/хв, 192 фунт-фут (260 Н·м) при 3000 об/хв

- Форд Ескейп 2020–2022 років випуску
- Форд Бронко Спорт 2021–2024 років випуску

5) 197 к.с. (147 кВт; 200 к.с.) при 6000 об/хв, 214 фунт-фут (290 Н·м) при 1600-4000 об/хв, ступінь стиснення 9,7:1

- Ford Fiesta Mk7 ST 2018–2023 років випуску
- Ford Puma ST 2021–дотепер

EcoBoost 1.5 (Ford Sigma engine)

Застосування:

1) 184 к.с. (135 кВт; 181 к.с.)

- Форд Ф'южн 2014 - 2020 років
- Форд Фокус Mk3 2015 - 2018 років

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2) 181 к.с. (133 кВт; 179 к.с.)

- Форд Ескейп 2017–2019 років випуску

3) 162 к.с. (119 кВт; 160 к.с.)

- Лендвінд Х7 2017–2019 років випуску

4) 160 к.с. (118 кВт; 158 к.с.)

- Форд Мондео Mk5 2015 - 2022 років випуску

5) 150 к.с. (110 кВт; 148 к.с.)

- Форд Фокус Mk4 2015 - 2018 років
- Форд С-Макс 2015 - 2019 років

6) 190 к.с. (140 кВт; 187 к.с.)

- Ford Mondeo Mk5 2023 - дотепер

EcoBoost 1.6 (Ford Sigma engine)

Застосування:

1) 120 к.с. (88 кВт; 118 к.с.)

- Вольво V40 2012–2015 років випуску

2) 150 к.с. (110 кВт; 148 к.с.)

- Форд С-МАКС 2010–2019 років випуску
- Форд Фокус Mk3 2010–2014 років випуску
- Форд Транзит Коннект 2014–2016 років випуску
- Вольво S60 2011–2018 років випуску
- Вольво V60 2011–2015 років випуску
- Вольво V40 2012–2015 років випуску

3) 160 к.с. (118 кВт; 158 к.с.)

- Форд Мондео 2011–2014 років випуску
- Форд S-Мах 2011–2015 років випуску
- Форд Галаксі 2011–2015 років випуску

4) 180 к.с. (132 кВт; 178 к.с.)

- Форд Фокус 2010–2014 років випуску
- Форд Ескейп 2013–2016 років випуску

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Volvo S60 DRIVe FFV (Таїланд) 2010–2018

5) 185 к.с. (136 кВт; 182 к.с.)

- Форд С-МАКС 2010–2019 років випуску
- Вольво S60 2010–2018 років випуску
- Вольво V60 2011–2015 років випуску
- Форд Фокус 2011–2014 років випуску
- Вольво V70 2011–2016 років випуску
- Вольво S80 2011–2016 років випуску
- Вольво V40 2012–2015 років випуску
- Форд Ф'южн 2013–2014 років

6) 200 к.с. (147 кВт; 197 к.с.)

- Форд Фієста ST 2013–2017 років випуску
- Форд Фієста ST200 2016–2017 років випуску

EcoBoost 2.0

Застосування:

1) 203 к.с. (149 кВт; 200 к.с.) при 5500 об/хв, 221 фунт-фут (300 Н·м) при 1750-4500 об/хв

- Форд S-MAX 2010–2014 років випуску
- Форд Галаксі 2010–2015 років випуску
- Форд Мондео 2010–2019 років випуску
- Вольво S60 2.0T 2010–2018 років випуску
- Вольво V60 2.0T 2010–2011 років випуску
- Вольво V70 2.0T 2010–2011 років випуску

2) 243 к.с. (179 кВт; 240 к.с.) при 5500 об/хв, 270 фунт-фут (366 Н·м) при 1900–3500 об/хв

- Форд Мондео 2010–2019 років випуску
- Вольво S60 T5 2010–2018 років випуску
- Вольво V60 T5 2010–2013 років випуску

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Вольво V70 2011–2013 років випуску
- Вольво XC60 T5 2012–2017 років випуску
- Форд Експлорер 2011–2015 років випуску
- Форд Едж 2011–2014 років випуску
- Range Rover Evoque 2011–2017 років випуску [45]
- Форд S-MAX 2012–2018 років випуску
- Форд Галаксі 2015–2021 років випуску
- Форд Фалкон 2012–2016 років [46]
- Форд Ескейп / Форд Куга 2013–2015 років випуску
- Land Rover Freelander 2 2013–2015
- Форд Ф'южн 2013–2016 років
- Форд Таурус 2013–2017 рр. [47] [48] [49]
- Лінкольн МКЗ 2013–2015 років випуску
- Land Rover Discovery Sport 2015–2017 років випуску
- Ягуар ХЕ 25Т 2015-2017 років випуску
- Лінкольн МКЦ 2015–2018 років випуску

3) 255 к.с. (188 кВт; 252 к.с.) при 5500 об/хв, 270 фунт-фут (366 Н·м) при 2000–4500 об/хв

- Форд Фокус ST 2012–2018 років випуску

4) 290 к.с. (213 кВт; 286 к.с.) при 5500 об/хв, 310 фунт-фут (420 Н·м) при 1900–3500 об/хв

- 2008–2017 ВУХЛ 05

5) 305 к.с. (224 кВт; 301 к.с.) при 5500 об/хв, 270 фунт-фут (366 Н·м) при 2500 об/хв, Ford-RPE (Radical Performance Engines)

- 2011 – Radical SR3 SL

EcoBoost 2.7

Застосування:

1) 325 к.с. (242 кВт) при 5750 об/хв, 375 фунт-фут (508 Н·м) при 3000 об/хв

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Форд F-150 2015–2017 років випуску

2) 335 к.с. (250 кВт) при 5500 об/хв, 380 фунт-фут (515 Н·м) при 3000 об/хв

- Лінкольн MKX 2016–2018 років випуску

- Лінкольн Континенталь 2017–2020 років випуску

3) 335 к.с. (250 кВт) при 5500 об/хв, 380 фунт-фут (515 Н·м) при 3250 об/хв

- 2019–2023 Лінкольн Наутілуc

4) 315 к.с. (235 кВт) при 4750 об/хв, 350 фунт-фут (475 Н·м) при 2750 об/хв

- Форд Едж Спорт 2015–2018 років випуску

5) 335 к.с. (250 кВт) при 5000 об/хв, 380 фунт-фут (515 Н·м) при 3000 об/хв

- Форд Едж ST 2019–2024 років випуску

6) 325 к.с. (242 кВт) при 5500 об/хв, 380 фунт-фут (515 Н·м) при 3500 об/хв

- Форд Ф'южн Спорт 2017–2019 років

EcoBoost 3.0

Застосування:

1) 350 к.с. (261 кВт) при 5500 об/хв, 400 фунт-фут (542 Н·м) при 2750 об/хв (лише передній привід)

- Лінкольн MK3 2017–2020 років випуску

2) 400 к.с. (298 кВт) при 5750 об/хв, 400 фунт-фут (542 Н·м) при 2750 об/хв (лише повний привід)

- Лінкольн Континенталь 2017–2020 років випуску

- Лінкольн MK3 2017–2020 років випуску

3) 365 к.с. (272 кВт) при 5500 об/хв, 380 фунт-фут (515 Н·м) при 3500 об/хв

- Форд Експлорер 2020–2021 років випуску

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4) 392 к.с. (292 кВт) при 5650 об/хв, 430 фунт-фут (583 Н·м) при 3500 об/хв

- 2022–дотепер Ford Ranger Raptor

5) 400 к.с. (298 кВт) при 5500 об/хв, 415 фунт-фут (563 Н·м) при 3500 об/хв

- Ford Explorer ST 2020–дотепер (2022– комплектації King Ranch та Platinum)
- 2020–дотепер Ford Police Interceptor Utility
- 2020–дотепер Lincoln Aviator

6) 418 к.с. (312 кВт) при 5650 об/хв, 440 фунт-фут (597 Н·м) при 3500 об/хв

- 2022–дотепер Ford Bronco Raptor

7) 494 к.с. (368 кВт) загалом, з додатковими електродвигунами при 5500 об/хв, 630 фунт-фут (854 Н·м) загалом, з додатковими електродвигунами при 3000 об/хв

- Гібрид Lincoln Aviator 2020–2023 років випуску з підзарядкою.

EcoBoost 3.5

Застосування:

1) 310 к.с. (231 кВт) при 5500 об/хв, 400 фунт-фут (542 Н·м) при 2500 об/хв

- Форд Транзит 2015–2019 років випуску

2) 355 к.с. (265 кВт) при 5700 об/хв, 350 фунт-фут (475 Н·м) при 3500 об/хв

- Форд Флекс 2010–2012 років випуску
- Лінкольн МКС 2010–2012 років випуску
- Лінкольн МКТ 2010–2012 років випуску
- Форд Експлорер XLT 2011-2012 років випуску

3) 365 к.с. (272 кВт) при 5500 об/хв, 350 фунт-фут (475 Н·м) при 1500-5000 об/хв

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Ford Taurus SHO 2010–2019 років випуску
- 2013–2019 Police Interceptor Sedan
- Лінкольн МКС 2013–2016 рр
- Лінкольн МКТ 2013–2019 рр.

4) 365 к.с. (272 кВт) при 5500 об/хв, 350 фунт-фут (475 Н·м) при 3500 об/хв

- Форд Експлорер Спорт 2013–2019 років випуску
- Ford Explorer Platinum 2016–2019 років випуску
- Форд Флекс 2013–2019 років випуску
- 2014–2019 Ford Police Interceptor Utility

5) 365 к.с. (272 кВт) при 5000 об/хв, 420 фунт-фут (569 Н·м) при 2500 об/хв

- Форд F-150 2011–2016 рр.

6) 365 к.с. (272 кВт) при 5000 об/хв, 420 фунт-фут (569 Н·м) при 2250 об/хв

- Ford Expedition/Expedition EL 2015–2017 років випуску

7) 380 к.с. (283 кВт) при 5250 об/хв, 460 фунт-фут (624 Н·м) при 2750 об/хв

- Lincoln Navigator/Navigator L 2015–2017 років випуску

Технічні характеристики, проблеми та надійність двигуна Ford 2.3L EcoBoost

Разом із другим поколінням 2.0L EcoBoost, у 2015 році, Ford представив версію 2.3L EcoBoost 4ЧН8,7/9,4 (рис. 1.1, 1.2) – найпотужніший чотирициліндровий двигун у сімействі EcoBoost. 2,3-літровий турбодвигун І4 спочатку став доступним для кросовера Lincoln МКС 2015 року, а через рік його встановлювали на Ford Explorer та найкращий Ford Focus RS потужністю 350 к.с. Але по-справжньому відомий двигун знаходиться під капотом Ford Mustang EcoBoost, з 310 к.с. та крутним моментом 434 Нм.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

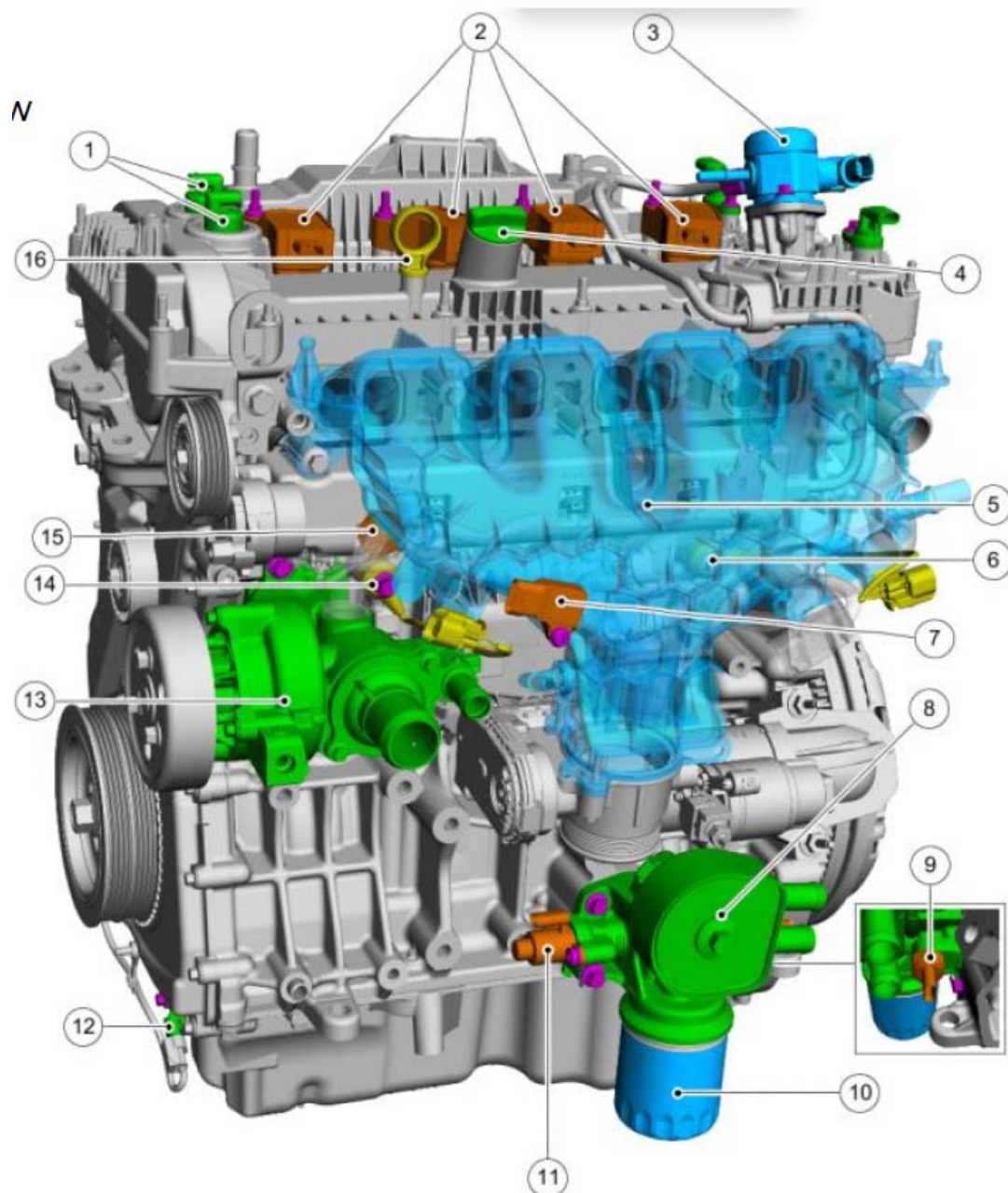


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд двигуна 4ЧН8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost). Вид спереду:

- 1 – соленоїд регулятора фаз газорозподілу; 2 – котушки запалювання;
- 3 – паливний насос високого тиску; 4 – заливна горловина моторного масла;
- 5 – впускні колектори; 6 – задній датчик детонації; 7 – датчик MAPT;
- 8 – маслоохолоджувач; 9 – Датчик тиску масла; 10 – масляний фільтр;
- 11 – соленоїд керування тиском масла; 12 – датчик рівня масла; 13 – водяний насос;
- 14 – передній датчик детонації (KS); 15 – датчик FRP; 16 – щуп для перевірки рівня масла

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

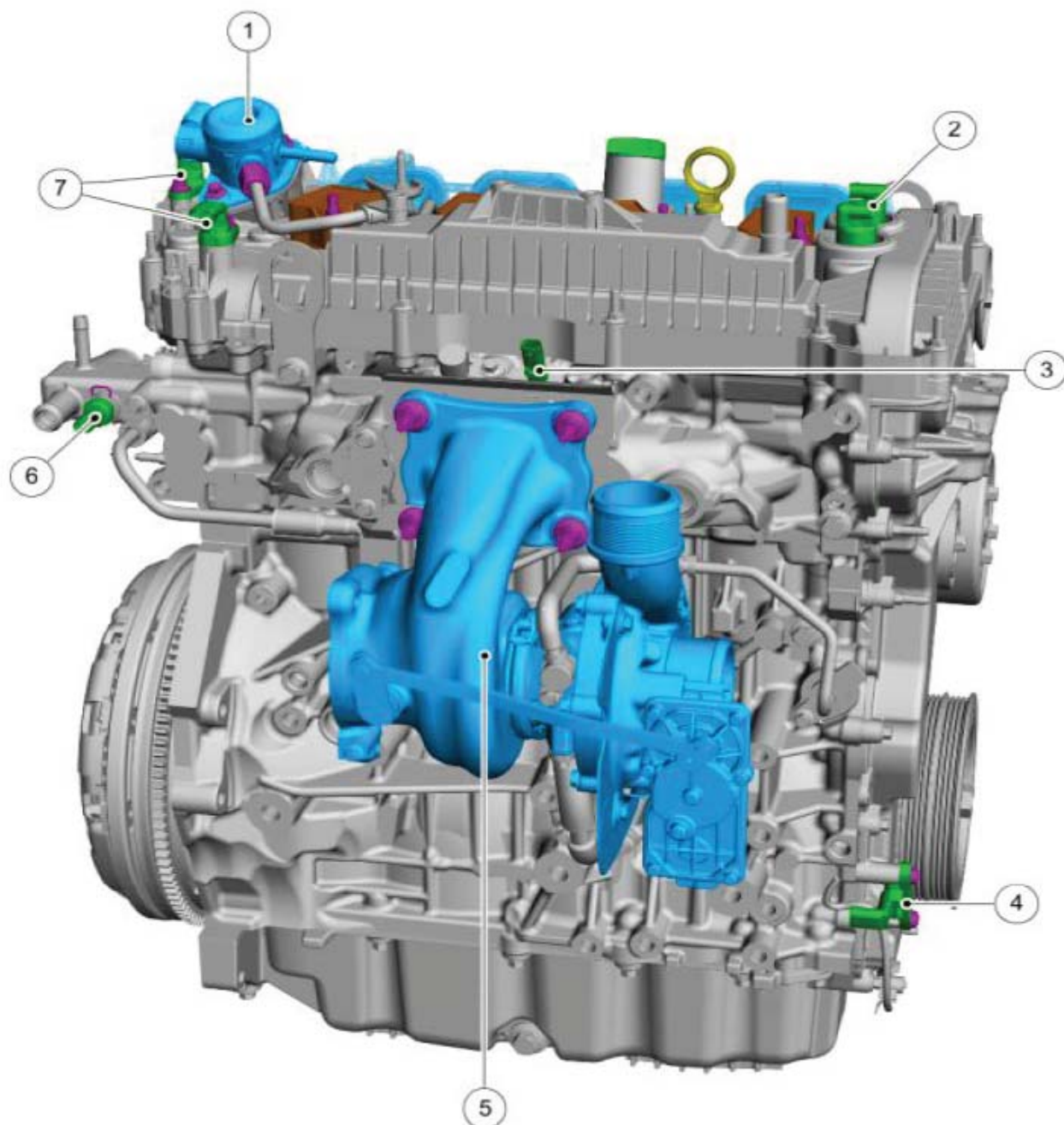


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд двигуна 4ЧН8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost). Вид
сзаду:

1 – паливний насос високого тиску; 2 – соленоїд регулятора фаз
газорозподілу; 3 – датчик температури головки блока; 4 – датчик положення
колінчастого вала; 5 – турбокомпресор; 6 – датчик температури
охолоджувальної рідини; 7 – датчики положення розподільчого вала

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

По суті, двигун 2.3 EcoBoost базується на двигуні 2.0 EcoBoost Gen 2 і його можна назвати «строкером». Крім того, ці двигуни виготовляються на одному заводі у Валенсії, Іспанія. Однак 2.3-літрова версія була значно посилена, щоб витримувати підвищену потужність і забезпечувати тисячі миль пробігу без збоїв.

Двигун був побудований на базі литого під високим тиском алюмінієвого блоку циліндрів з відкритою декою. Хоча діаметр отвору циліндрів та висота деки такі ж, як у 2.0L EcoBoost, блок двигуна 2.3L має збільшені масляні та охолоджувальні канали, а також структурну сходову раму (зміцнювальні ребра, відлиті навколо циліндрів) з інтегрованими кришками корінних підшипників. Збільшення робочого об'єму було досягнуто завдяки застосуванню нового кованого колінчастого вала зі сталі 4340 з ходом 94 мм (2L має хід 83,1 мм). У двигуні також використовуються ковані сталеві шатуни (вони коротші, ніж шатуни 2.0L) та легкі високоміцні поршні зі сталевими носачами поршневих кілець та повністю плаваючими штифтами. Нові поршні мають покриття спідниці з низьким тертям та менше отворів для зливу масла для кращого змащування та зниження тертя. Нижня сторона циліндрів охолоджується маслом, яке постійно розбризкується спеціальними масляними форсунками всередині блоку двигуна. У нижній частині двигуна розташовані масляний насос з ланцюговим приводом, балансувальний вал і литий під тиском алюмінієвий піддон картера з глибоким картером та перегородкою, яка допомагає запобігти розбризкуванню масла та підтримувати її подачу під час активного водіння.

На верхній частині блоку циліндрів розташована алюмінієва головка блоку циліндрів з двома розподільними валами з ланцюговим приводом (DOHC). Кожен циліндр має чотири клапани, один паливний інжектор GDI та свічку запалювання. Конструкція головки блоку циліндрів передбачає інтегрований випускний колектор з трьома високопоточними отворами для нового турбокомпресора з подвійним спіральним двигуном IWG. Випускні

					<i>KPM.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

клапани стали більшими: на 30 мм порівняно з 28 мм у 2,0-літровому двигуні. Діаметр впускного клапана становить 32,5 мм. Сідла клапанів виготовлені з високоефективних матеріалів. Розподільні вали мають більший підйом і довший термін служби, а також працюють з системою подвійного незалежного регулювання фаз газорозподілу Ford Twin Independent Variable Cam Timing System (Ti-VCT). Випускний розподільний вал приводить у дію паливний насос високого тиску (CDFP, або паливний насос з розподільним кермом).

Двигун отримав оновлений пластиковий впускний колектор зі збільшеним об'ємом та дросельною заслінкою більшого діаметра. Турбокомпресор з подвійною завиткою забезпечує миттєвий наддув саме тоді, коли це потрібно двигуну; він забезпечує плоску криву крутного моменту, яка набагато швидша, ніж у традиційного турбокомпресора. В результаті, перероблені компоненти впускного колектора забезпечили більше потужності та швидшу реакцію на розгін зі зниженням викидів, покращеною ефективністю турбіни.

Найвідомішою проблемою 2,3-літрового двигуна EcoBoost є *несправна прокладка головки блоку циліндрів*. Десятки двигунів Ford Focus RS мали проблеми з витіканням прокладки головки блоку циліндрів. Спочатку проблема проявляється у білому димі з вихлопних газів та/або витраті охолоджувальної рідини. Але пізніше до неї додаються пропуски запалювання під навантаженням та при холодному запуску, солодкуватий запах охолоджувальної рідини у вихлопних газах, перегрів двигуна та втрата опалення салону. Причиною було використання неправильної прокладки головки блоку циліндрів, яка належала двигуну Ford Mustang. Цей 2,3-літровий двигун EcoBoost має подібну конструкцію, але канали охолоджувальної рідини відрізняються, що вимагає унікальних прокладок головки блоку циліндрів для кожного двигуна. Також варто зазначити, що

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Mustang не мав проблеми з витіканням охолоджувальної рідини через прокладку головки блоку циліндрів.

Втрата потужності двигунів. Ця проблема не оминула й двигун 2.3 EcoBoost. Власники можуть помітити падіння продуктивності та дещо вищу витрату палива. Це відбувається через накопичення нагару на задній стороні впускних клапанів та на стінках впускних отворів. Шар сажі обмежує потік повітря на впуску та перешкоджає правильному закриттю впускних клапанів, що ще більше погіршує ситуацію. Для повернення до початкових характеристик двигуна може бути застосований спеціальний процес очищення від вуглецю (це також рекомендується в профілактичних цілях).

Модифікації

280 к.с. (209 кВт) при 5600 об/хв, 420 Нм при 3000 об/хв. Застосування: Ford Explorer, Ford Ranger.

285 к.с. (213 кВт) при 5500 об/хв, 414 Нм при 2750 об/хв. Двигун використовується в Lincoln MKC.

310 к.с. (231 кВт) при 5500 об/хв, 434-475 Нм при 3000 об/хв - двигун Ford Mustang EcoBoost. Вихідна потужність залежить від типу палива.

350 к.с. (261 кВт) при 6000 об/хв, 475 Нм при 3200 об/хв - характеристики двигуна Ford Focus RS. Ця версія також використовується в Zenos E10 R.

385 к.с. (287 кВт) при 6000 об/хв, 369 фунт-фут (500 Нм) при 3200 об/хв. Це неймовірна версія двигуна 2.3 EcoBoost, створеного спеціально для трекового автомобіля – VUHL 05 RR.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ВПОРСКУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Вступ

Сучасний розвиток автомобільної промисловості характеризується зростанням вимог до економічності, екологічної безпеки, динамічності та надійності бензинових двигунів внутрішнього згорання. У цих умовах особливої уваги потребують системи живлення, а саме системи впорскування бензину, які визначають якість сумішоутворення, стабільність роботи двигуна в широкому діапазоні режимів та рівень викидів шкідливих речовин [2]. Протягом останніх десятиліть системи впорскування зазнали суттєвої еволюції: від механічних та електромеханічних схем керування до повністю електронних високоточних інжекційних комплексів з індивідуальним керуванням кожною форсункою. На сучасному етапі вдосконалення систем упорскування спрямоване на розв'язання декількох ключових завдань: забезпечення максимально ефективного та повного згорання палива, зменшення токсичності відпрацьованих газів, підвищення ресурсу двигуна, сумісність зі зростаючою кількістю альтернативних палив та інтеграцію з електрифікованими силовими установками.

Тенденції розвитку бензинових ДВЗ

Упродовж останніх років виробники двигунів активно впроваджують технології, спрямовані на покращення паливної економічності та екологічності. Основні тенденції розвитку бензинових двигунів пов'язані з наступними чинниками:

1. Жорсткі екологічні вимоги

Введення таких стандартів, як Euro 6 та перспективного Euro 7, вимагає радикального зниження викидів NO_x, CO та дрібнодисперсного пилу. Для досягнення цих показників саме система впорскування має забезпечити:

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- точнішу дозу палива,
- оптимальне диспергування,
- моделювання процесу згоряння в режимі реального часу.

2. Downsizing та турбонаддув

Зменшення робочого об'єму при збереженні потужності вимагає високоефективного охолодженого впорскування, стійкого до детонації. Це створює умови для розвитку GDI-технологій надвисокого тиску.

3. Електрифікація силових установок

Гібридні автомобілі працюють на низькому завантаженні двигуна, часто запускають та вимикають його. Тому потрібні системи впорскування, які:

- забезпечують стабільний запуск «на холодну»,
- моментальну реакцію,
- мінімальні втрати при частих циклах пуск-зупинка.

4. Нові види палива [3]

Розвиток біопалив, етанолу високої концентрації, синтетичних палив та воднево-вуглеводневих сумішей потребує адаптованих форсунок, високої хімічної стійкості матеріалів і можливості змінювати параметри впорску під конкретне паливо.

Еволюція систем впорскування бензинових двигунів

1. Карбюраторні системи

Історично першими були карбюратори, але їх повна неможливість забезпечити точну дозу палива на різних режимах призвела до заміни інжекторами.

2. Механічне впорскування

Системи Bosch K-Jetronic стали базою для подальших поколінь, проте вони були обмежені можливостями механічного дозування.

3. Електронне багатоточкове впорскування PFI

Розвиток електронних систем керування привів до появи MPI/PFI-систем, які дозволили:

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- покращити рівномірність розподілу палива між циліндрами,
- зменшити витрату палива,
- інтегрувати лямбда-регулювання.

4. Пряме впорскування палива GDI

Поява GDI стала революцією, оскільки дозволила:

- формувати збіднені прошаркові суміші,
- значно зменшувати витрати в міських режимах,
- підвищувати потужність за рахунок кращого наповнення циліндра.

Сучасні технології PFI та GDI

1. Удосконалення PFI-впорскування

Попри поширення GDI, багато виробників продовжують розвивати PFI, оскільки воно:

- дешевше,
- надійніше,
- формує менше твердих частинок.

Сучасні PFI-системи оснащуються:

- багатодірковими інжекторами,
- мультиімпульсним алгоритмом упорскування,
- тиском палива 6–7 бар.

2. Удосконалення GDI

Системи прямого впорскування працюють на тисках до 350–500 бар, а нові покоління — до 700 бар. Високий тиск дозволяє:

- формувати ультрадрібний факел,
- скорочувати час сумішоутворення,
- знижувати схильність до детонації.

GDI-форсунки сьогодні оснащуються:

- п'єзоелектричними приводами,
- складними мікроканальними розпилювачами,

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- багатofазними циклами впорску,
- функцією «впорскування в плівку» для зниження температури заряду.

Комбіноване впорскування (Dual Injection)

Одним із провідних трендів є суміщення PFI та GDI у межах одного двигуна.

Переваги системи [4]:

- PFI працює на малих і середніх навантаженнях → зменшує кількість твердих частинок.
- GDI працює на високих навантаженнях → збільшує потужність.
- Система забезпечує максимальну гнучкість керування згорянням.

Основні конструктивні особливості:

- два інжектори на циліндр,
- електроніка, здатна змінювати стратегію формування суміші в реальному часі,
- можливість роботи у 5–8 сценаріях упорскування залежно від режиму.

Виробники Toyota та Lexus широко застосовують цю технологію у серії двигунів D-4S.

Надвисокий тиск упорскування

Збільшення тиску є способом покращення як диспергування палива, так і швидкості його випаровування. Сучасні тренди включають:

1. Підвищення тиску до 700 бар

Це дозволяє отримати краплі діаметром менше 10 мкм, що істотно зменшує кількість незгорілого палива та дрібнодисперсних частинок.

2. Матеріали підвищеної міцності

Для роботи на таких тисках впроваджуються:

- композиційні розпилювачі,
- надміцні сталі,

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- DLC-покриття голки форсунки.

3. Інтелектуальне керування насосом високого тиску

Система здатна:

- змінювати виробіток насоса,
- мінімізувати гідравлічні втрати,
- адаптувати тиск під конкретний цикл.

П'єзоінжектори як перспективний напрям

П'єзоелектричні інжектори забезпечують у 4–5 разів швидшу реакцію порівняно із соленоїдними. Вони дозволяють:

- виконувати до 10–15 впорскувань за цикл,
- неймовірно точно дозувати паливо,
- управляти факелом і напрямом впорскування,
- забезпечити стабільне надбідне згоряння.

Особливо перспективними п'єзоінжектори є для:

- гібридних авто,
- двигунів з прошарковим сумішоутворенням,
- систем із комбінованим упорскуванням.

Покращення сумішоутворення та згоряння

1. Мультиімпульсне впорскування

Замість одного впорску за цикл здійснюється 3–6 дрібних імпульсів. Це дає:

- рівномірнішу суміш,
- менші циклові коливання,
- нижчу емісію НС.

2. Оптимізація форми камери згоряння

Сучасні камери формуються з урахуванням CFD-моделювання:

- покращені завихрення (tumble, swirl),
- оптимізація положення свічки запалювання,
- спрямування факела палива.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Керування турбулентністю повітря

Системи VVT, Valvelift та електронно-керовані дроселі забезпечують:

- зміну напрямку потоків,
- адаптивну подачу повітря до форсунки,
- підготовку робочої суміші в різних режимах.

Датчики та керування нового покоління

1. Іонізаційні датчики в камері згоряння

Дозволяють «бачити» початок згоряння та контролювати детонацію.

2. Лямбда-датчики широкосмугового типу (UEGO)

Здатні забезпечувати точний контроль над AFR навіть при дуже бідних або збагачених сумішах.

3. Камери в поршні або ГБЦ

Розвиток мініатюрних камер високої температури дозволяє аналізувати:

- фактичний розподіл палива,
- момент займання,
- розмір полум'я.

4. Штучний інтелект в керуванні двигуном

Нові моделі ECU навчаються під час експлуатації:

- прогнозують детонацію,
- оптимізують потужність,
- знижують витрату палива.

Електрифікація та взаємодія із гібридними технологіями

У гібридних автомобілях двигун працює не постійно, а в окремих оптимізованих режимах. Це вимагає:

1. Миттєвого формування суміші

Форсунка повинна забезпечувати стабільний факел навіть при холодному запуску.

2. Стійкість до частих пусків/зупинок

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Через багаторазові цикли зростає навантаження на інжектори.

3. Підвищення термостійкості

При роботі разом із електромотором температура стінок циліндра часто змінюється — інжектор має пристосовуватись до цих коливань.

Системи впорскування для альтернативних палив

1. Етанол (E85, E100)

Вимагає:

- збільшеної подачі палива,
- корозійностійких матеріалів,
- адаптивного управління фазами впорскування.

2. Синтетичні е-палива

Тренд, пов'язаний із декарбонізацією. Системи впорскування повинні працювати з:

- модифікованими параметрами займання,
- зміненою швидкістю випаровування.

3. Воднево-бензинові суміші

Переваги:

- швидше згоряння,
- нижчі викиди CO і HC,
- можливість збіднених сумішей AFR 30–40.

Необхідні зміни:

- інжектори з іншими профілями факела,
- датчики тиску нового покоління,
- складні алгоритми антидетонації.

Висновки

Системи безпосереднього впорскування (БВ) палива мають певні переваги перед системами упорскування палива у впускні канали. Наприклад, системи безпосереднього впорскування палива можуть покращувати охолодження заряду повітряно-паливної суміші в циліндрі, внаслідок чого

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

циліндри двигуна можуть працювати з більшою ступенем стискання без загрози виникнення небажаної детонації. Однак при високих частотах обертання та навантаженнях двигуна паливні форсунки безпосереднього впорскування можуть не справлятися з подачею необхідної кількості палива в циліндр, оскільки тривалість такту циліндра в цьому випадку скорочується, і її може бути недостатньо для того, щоб форсунка встигла подати потрібну кількість палива. У результаті цього двигун може розвивати потужність, меншу від необхідної, на високих обертах та навантаженнях. Крім того, системи безпосереднього впорскування можуть бути більш схильними до утворення твердих частинок у вихлопі.

У спробі зменшити викиди твердих частинок і розрідження моторного масла паливом були розроблені системи безпосереднього впорскування надвисокого тиску. Наприклад, якщо номінальний максимальний тиск упорскування у звичайних системах становить приблизно 150 бар, то системи БВ підвищеного тиску можуть працювати в діапазоні 250...800 бар [5].

Одним із недоліків таких систем БВ високого тиску є те, що динамічний діапазон роботи форсунок може обмежуватись тиском у паливній рампі. Зокрема, коли тиск у рампі дуже високий, а двигун повинен працювати з низьким навантаженням, тривалість імпульсу форсунки може бути дуже малою. За таких умов мала ширина імпульсу призводить до нерівномірної роботи форсунки. Крім того, при надто малій тривалості імпульсу форсунка навіть може не відкритися. Такі умови здатні спричинити суттєві похибки в подачі палива.

Один з можливих варіантів вирішення зазначених проблем є спосіб, який передбачає роботу двигуна з використанням: подачі палива паливним насосом високого тиску для безпосереднього впорскування перемінним тиском через першу паливну рампу та при постійному тиску через другу паливну рампу.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВПОРСКУВАННЯ

ПАЛИВА З ПОСТІЙНИМ ТА ПЕРЕМІННИМ ТИСКОМ ДЛЯ ДВИГУНА

4ЧН8,7/9,4 (FORD 2.3L ECOBOOST)

Тепловий розрахунок двигуна 4ЧН8,7/9,4 (FORD 2.3L ECOBOOST)

Параметр	Значення
<i>Вихідні дані</i>	
Діаметр циліндра, м	0,087
Хід поршня, м	0,094
Частота обертання, хв ⁻¹	5600
Тактність	0,5
Число циліндрів	4
Тиск наддуву, МПа	0,165
Тиск навколишнього середовища, МПа	0,1013
Температура навколишнього середовища, К	290
Показник політропи стиснення в компресорі	1,8
Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння	0,87
Коефіцієнт використання тепла в точці z	0,94
Коефіцієнт використання тепла в точці b	0,97
Ступінь стиснення	10
Відношення середньої ізобарної теплоємності ВГ та свіжого заряду	1,15
Підігрів заряду від стінок циліндра	15
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	0,96
Коефіцієнт втрати тиску у впускному колекторі	0,99
Механічний ККД двигуна	0,9
Втрата тиску в повітроохолоджувачі, МПа	0,005
Температура залишкових газів, К	800

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
Температура відхідних газів, К	800
<i>Розрахунок процесу наповнення</i>	
Температура повітря за компресором, К	325,028
Температура повітря в точці а, К	344,066
Тиск повітря в точці а, МПа	0,163
Коефіцієнт наповнення	1,073
Коефіцієнт залишкових газів	0,0070
<i>Розрахунок процесу стиснення</i>	
Теплоємність робочого тіла в точці с, кДж/(кмольК)	21,578
Середній показник політропи стиснення	1,375
Тиск наприкінці стиснення, МПа	3,873
Температура наприкінці стиснення, К	815,748
<i>Розрахунок процесу згоряння</i>	
Стехіометричне співвідношення	0,512
Кількість свіжого повітря, кмоль/кг	0,454
Кількість робочого тіла після процесу <u>сгоряння</u> , кмоль/кг	0,496
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	1,091
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	1,091
Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z	1,088
Максимальна температура згоряння, К	2930
Максимальний тиск згоряння, МПа	15,131
Ступінь підвищення тиску при згорянні	3,907

<i>Розрахунок процесу розширення</i>	
Середній показник політропи розширення	1,236
Температура наприкінці процесу розширення, К	851,105
Тиск наприкінці процесу розширення, МПа	0,879
<i>Індикаторні показники</i>	
Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа	2,323
Дійсний середній індикаторний тиск, МПа	2,23
Індикаторний ККД	0,352
Індикаторна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	0,233
<i>Ефективні показники</i>	
Середній ефективний тиск, МПа	2,007
Ефективний ККД двигуна	0,316
Ефективна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	0,259
Ефективна потужність двигуна, кВт	209,504

Аналіз ефективності використання системи впорскування палива з постійним та перемінним тиском для двигуна 4СН8,7/9,4 (FORD 2.3L ECOBOOST)

На рис.3.1 представлена схема роботи двигуна 4СН8,7/9,4 (FORD 2.3L ECOBOOST) 10, оснащеного повноцінною електронною системою керування 12 [6]. Робота двигуна контролюється автоматично на основі положення педалі акселератора 132, яке фіксує датчик 134, а також за сигналами від численних датчиків двигуна. Камера згоряння циліндра 14 утворена стінками 136 і поршнем 138, що через шатун приводить у рух колінчастий вал 140. Через трансмісію крутний момент передається на ведучі колеса автомобіля. Запуск двигуна забезпечує стартер, з'єднаний із маховиком.

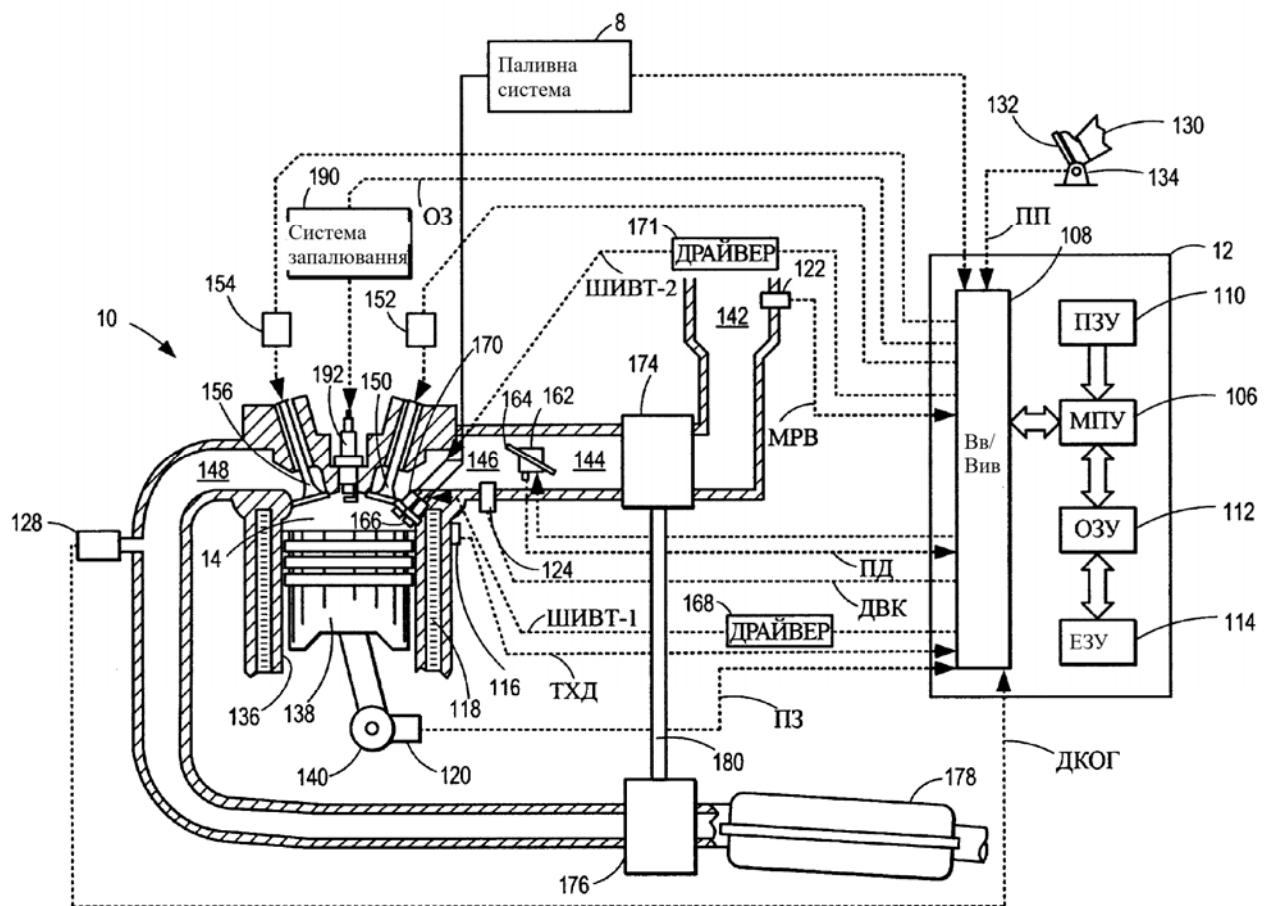


Рисунок 3.1 – Загальна схема роботи двигуна

Подача повітря в циліндр здійснюється через систему впускних каналів 142, 144 і 146. Один із них з'єднаний із загальним повітропроводом, що забезпечує рівномірний розподіл повітря між циліндрами. У конструкції реалізований турбонаддув: компресор 174 розміщений між каналами 142 і 144 й отримує привод від газової турбіни 176 через вал 180. Це збільшує кількість повітря, що надходить у циліндри, та підвищує наповнення на великих навантаженнях. Регулювання тиску та витрати повітря виконує дросельний вузол 162 із заслінкою 164, встановлений у впускному тракті після компресора.

Вихлопні гази від циліндра 14 та інших циліндрів відводяться через канал 148, у якому розташований датчик 128 складу відпрацьованих газів. Він визначає коефіцієнт надлишку повітря та дозволяє системі керування підтримувати оптимальне паливоповітряне співвідношення. Після датчика

гази проходять через вузол 178 очищення — трикомпонентний каталізатор або аналогічну систему зниження токсичності.

Циліндр обладнаний впускними та випускними тюльпаноподібними клапанами 150 і 156, встановленими в головці блока. Їх роботою керують електромеханічні приводи 152 і 154, що отримують команди від контролера 12. У конструкції реалізовані системи зміни фаз газорозподілу та висоти піднімання клапанів, що забезпечує оптимальне наповнення і випуск на різних режимах роботи. Положення клапанів відстежують окремі датчики, а алгоритми ЕБУ коригують фази відповідно до поточного навантаження та швидкості обертання.

У циліндрі встановлено свічку запалювання 192, якою керує система 190 відповідно до розрахованого контролером кута випередження запалювання.

Паливо впорскується системою безпосереднього упорскування через дві форсунки 166 і 170, що підключені до паливної рампи високого тиску. Форсунки керуються драйверами 168 і 171 за сигналами ШВТ і можуть здійснювати кілька впорскувань протягом одного циклу — під час впуску, стискання та початку згоряння. Форсунки відрізняються конструктивно (продуктивністю, кутом факела, орієнтацією та температурними режимами), що дозволяє точно регулювати розподіл палива між ними. Такий підхід покращує сумішоутворення, зменшує схильність до детонації та адаптує стратегію упорскування до типу палива і режиму роботи.

Паливна система 8 підтримує роботу на різних видах палива — бензині, спиртових сумішах E10, E85, M85 та їх комбінаціях. Контролер 12 автоматично коригує роботу двигуна залежно від складу палива, його октанового числа та теплоти пароутворення.

Електронний контролер 12, побудований на мікропроцесорі 106, містить ПЗП 110 з програмами та калібруваннями, ОЗП 112 та енергонезалежну пам'ять 114. Він отримує дані від датчика масової витрати повітря 122, датчика температури охолоджувальної рідини 116, датчика положення

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

колінчастого вала 120, датчика положення дросельної заслінки та датчика тиску у впускному колекторі 124. На основі цих сигналів контролер формує команди для систем запалювання, наддуву, упорскування, газорозподілу та визначає частоту обертання двигуна за імпульсами від датчика Холла.

На рис. 3.2 наведена детально опрацьована схема реалізованої паливної системи 200, яка за конструкцією відповідає паливній системі 8 на рис.3.1 і застосовується для подачі палива до двигуна 10 внутрішнього згоряння. Уся система працює під керуванням електронного контролера 222 (аналогічного контролеру 12 на рис. 3.1), який виконує алгоритми управління подачею палива згідно з технологічними послідовностями, описаними для рис. 3.3.

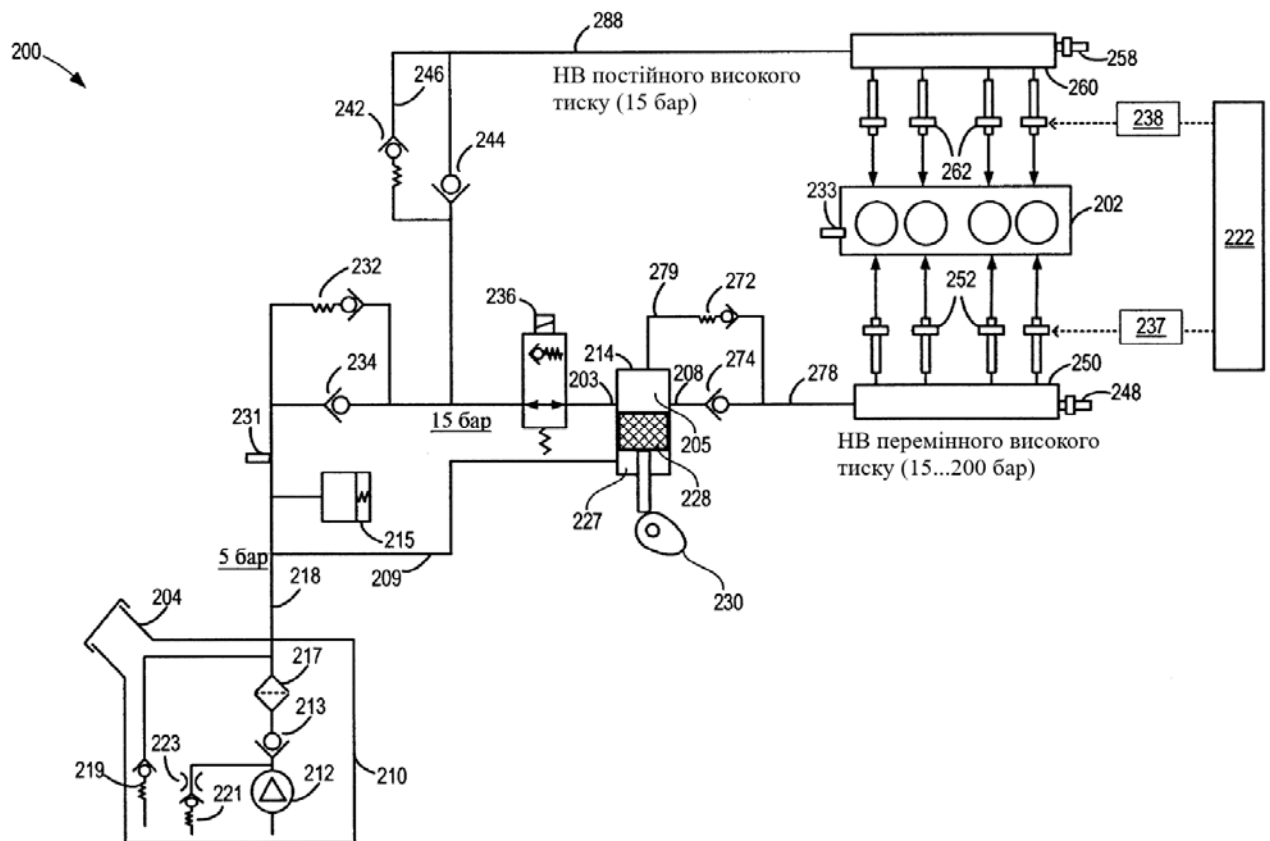


Рисунок 3.2 – Система подачі палива у двигун

Основу паливної системи становлять: паливний бак 210, у якому зберігається паливо на борту транспортного засобу; підкачувальний насос низького тиску 212; насос високого тиску 214 та система паливних рамп 250 і 260. Заправлення палива здійснюється через заправний канал 204

безпосередньо в бак 210. Усередині або безпосередньо біля бака встановлений електричний підкачувальний насос 212 низького тиску, який створює первинний тиск у магістралі та подає паливо по каналу 218 на вхід 203 насоса високого тиску 214.

Підкачувальний насос 212 живиться від бортової електричної мережі через керування від контролера 222. Контролер змінює напругу й/або струм, що подається на електродвигун насоса, тим самим регулює частоту обертання насоса, а отже – витрату та тиск палива у каналі 218.

Така побудова дозволяє точно підтримувати необхідні параметри на вході насоса високого тиску, мінімізуючи споживання енергії та запобігаючи надмірному нагріванню палива. Як правило, реалізований насос 212 є турбінним (центробіжним) з електродвигуном постійного струму.

На виході з насоса низького тиску в каналі 218 встановлено фільтр тонкого очищення 217, який вилучає механічні домішки та запобігає зносу деталей насоса високого тиску, форсунок та клапанів.

Перед фільтром розміщений зворотний клапан 213, що забезпечує односторонній рух палива й утримання тиску в магістралі при зупинці насоса. Завдяки наявності фільтра з відносно великим внутрішнім об'ємом, частина магістралі набуває додаткової гідравлічної піддатливості, що згладжує пульсації тиску.

Для захисту контуру низького тиску від перевантаження у каналі 218 встановлено запобіжний клапан 219, який відкривається при досягненні заданого тиску (наприклад, близько 5–6,4 бар надлишкового тиску) і скидає надлишок палива, обмежуючи максимальний тиск. У ділянці поблизу насоса 212 змонтовано дросель і дросельно-зворотний клапан 221, що дозволяють стравлювати повітряні пробки та пари палива з підкачувальної частини системи, забезпечуючи стійкий, безкавітаційний режим роботи насоса низького тиску.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Паливо, попередньо очищене й підведене під низьким тиском, надходить на насос високого тиску 214 витискувального типу, який приводиться від двигуна 202 механічно – через кулачок 230, пов’язаний з колінчастим або розподільчим валом. У конструкції насоса реалізовано плунжер 228, компресійну камеру 205 та операційну камеру 227. Плунжер здійснює зворотно-поступальний рух, послідовно виконуючи такт всмоктування (збільшення об’єму компресійної камери) та такт стиснення (зменшення об’єму та підвищення тиску палива).

У промисловій реалізації в якості насоса 214 застосовується, наприклад, насос високого тиску типу BOSCH HDP5, де використано електромагнітний регулювальний клапан 236.

Цей клапан керує корисним об’ємом ходу плунжера, тобто фактичною подачею насоса за один цикл. Контролер 222 синхронізує момент закриття й відкриття клапана 236 із кутовим положенням кулачка 230, що дає можливість точно обмежувати кількість палива, яке потрапляє в компресійну камеру 205, а значить – і тиск, який створюється на виході насоса.

Між насосом низького тиску 212 та насосом високого тиску 214 у каналі 218 підключений гідравлічний акумулятор (накопичувач) 215. Він накопичує певний об’єм палива і демпфує швидкі зміни тиску між низько- та високонапірним контурами.

Об’єм акумулятора підібраний так, що двигун може працювати на холостому ходу протягом заданого часу, навіть коли підкачувальний насос 212 працює у переривчастому (імпульсному) режимі. Коли тиск у каналі 218 зменшується до нижньої межі, контролер знову вмикає насос 212, поповнюючи акумулятор і відновлюючи необхідний запас палива.

Для контролю тиску у низьконапірній магістралі встановлено датчик тиску 231 на каналі 218 між насосами 212 та 214. Контролер 222 за сигналом цього датчика оцінює тиск на виході підкачувального насоса й на вході насоса високого тиску, визначає коректність роботи елементів системи та слідкує,

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

щоб насос високого тиску завжди засмоктував рідину, а не пари палива. Це важливо для запобігання кавітації, пропусків подачі та можливих зупинок двигуна.

Далі паливо під високим тиском розподіляється двома окремими паливними рампами.

Перша паливна рампа 250 з'єднана з виходом 208 насоса високого тиску через канал 278. У цьому каналі встановлено зворотний клапан 274, який перешкоджає зворотному потоку палива з рампи назад у насос, і клапан 272 скидання тиску, що обмежує максимальний тиск у рампі (наприклад, до близько 200 бар). Перша рампа працює у режимі перемінного високого тиску – від базового значення (спільного з другою рампою) до максимальних значень, необхідних для основних фаз безпосереднього впорскування.

Друга паливна рампа 260 підключена до впуску 203 насоса високого тиску через канал 288, зворотний клапан 234 та клапан 232 скидання тиску. Така конфігурація утворює контур постійного високого тиску, який перевищує стандартний тиск підкачувального насоса. Типово цей тиск становить близько 15 бар, тобто суму базового тиску підкачувального насоса (наприклад, ~5 бар) і заданого перепаду клапана 232 (наприклад, ~10 бар). Фактично постійний високий тиск у другій рампі забезпечується зворотним потоком і роботою насоса високого тиску через систему клапанів.

У кожній рампі реалізовано власний датчик тиску:

- датчик 248 – для першої рампи 250;
- датчик 258 – для другої рампи 260.

Сигнали цих датчиків надходять у контролер 222, який, разом з даними датчика частоти обертання 233 (що визначає швидкість обертання двигуна 202 і відповідно насоса 214), формує замкнутий контур керування тиском. Насос 214 повністю механічно пов'язаний із двигуном, тому частота його роботи прямо залежить від частоти обертання колінчастого або розподільчого валу.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Перша паливна рампа 250 живить групу форсунок 252 безпосереднього впорскування, які працюють на перемінному високому тиску (наприклад, 15–200 бар) і забезпечують основну подачу палива в циліндри. Друга рампа 260 живить іншу групу форсунок 262, що працюють на стабільному високому тиску (наприклад, 15 бар). Така концепція дозволяє поєднувати контур перемінного високого тиску для гнучкого керування основним упорскуванням і контур постійного високого тиску для додаткового або допоміжного впорскування (наприклад, для формування шару суміші, пілотного упорскування, охолодження заряду тощо).

Система клапанів 232, 242, 234, 244, 272, 274, а також регулювальний клапан 236 формують розгалужену гідравлічну схему, яка не тільки стабілізує тиск у магістралях, а й забезпечує змащення та охолодження насоса високого тиску. Різниця тиску між операційною камерою 227 та компресійною камерою 205 створює направлений витік невеликої кількості палива через зазор між плунжером 228 і стінкою циліндра насоса, завдяки чому робочі поверхні плунжера й циліндра постійно змащуються та охолоджуються. Це зменшує знос і підвищує ресурс насоса.

Коли система безпосереднього впорскування тимчасово не потребує активної подачі, але двигун продовжує працювати, контролер 222 переходить до імпульсного режиму роботи насоса низького тиску 212. Насос періодично вмикається, щоб поповнити акумулятор 215 та відновити необхідний тиск у каналі 218, після чого вимикається. При цьому насосу високого тиску 214 забезпечують мінімально достатній проток для змащення й запобігання підсосу парів палива. Контролер орієнтується на тиск за датчиком 231: при падінні тиску до рівня, що наближається до тиску насиченої пари палива, він повторно вмикає насос 212, доки тиск не повернеться до безпечного рівня.

У підсумку реалізована паливна система 200 забезпечує узгоджену роботу підкачувального насоса 212, насоса високого тиску 214, акумулятора 215, двох паливних рамп 250 і 260, системи датчиків та клапанів. Електронний

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

контролер 222 керує обома насосами, регулювальним клапаном 236 і режимами роботи рамп у замкнутому контурі за тиском, частотою обертання двигуна, навантаженням та іншими параметрами. Завдяки цьому формуються потрібні значення витрати, тиску та структури впорскування палива для кожної групи форсунок, що забезпечує ефективну, економічну й надійну роботу двигуна на різних режимах.

На рис. 3.3 представлена реалізована послідовність 300 роботи паливної системи та насоса високого тиску, яка забезпечує керовану подачу палива у двигун із двома паливними рампамі: першою рампою змінного високого тиску та другою рампою постійного високого тиску. Така конструкція дозволяє одній групі форсунок працювати на стабільному високому тиску, тоді як інша група отримує паливо зі змінним тиском, що забезпечує гнучке керування впорскуванням на різних режимах. У цій системі передбачено, що постійний високий тиск використовується у критичних умовах, коли форсунки змінного тиску не можуть забезпечити надійний впорск, наприклад при холодному або надзвичайно холодному пуску двигуна.

Послідовність починається з визначення умов холодного пуску. Контролер аналізує температуру охолоджувальної рідини двигуна, температуру каталізатора відпрацьованих газів, температуру навколишнього середовища та часовий проміжок від моменту попереднього вимкнення двигуна. За наявності низьких температур або довгої стоянки система переходить у режим холодного пуску. У таких умовах подача палива через форсунки першої рампі зі змінним тиском обмежена через недостатній тиск, підвищену в'язкість палива та неможливість стабільно формувати дуже малу тривалість імпульсу впорскування. Робочий тиск у рампі змінного високого тиску в холодному стані не може бути підвищений до необхідного рівня через конструктивні обмеження ущільнень форсунок. Через це форсунки змінного тиску можуть не забезпечувати потрібну витрату палива на один робочий цикл, що негативно впливає на стійкість згоряння.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

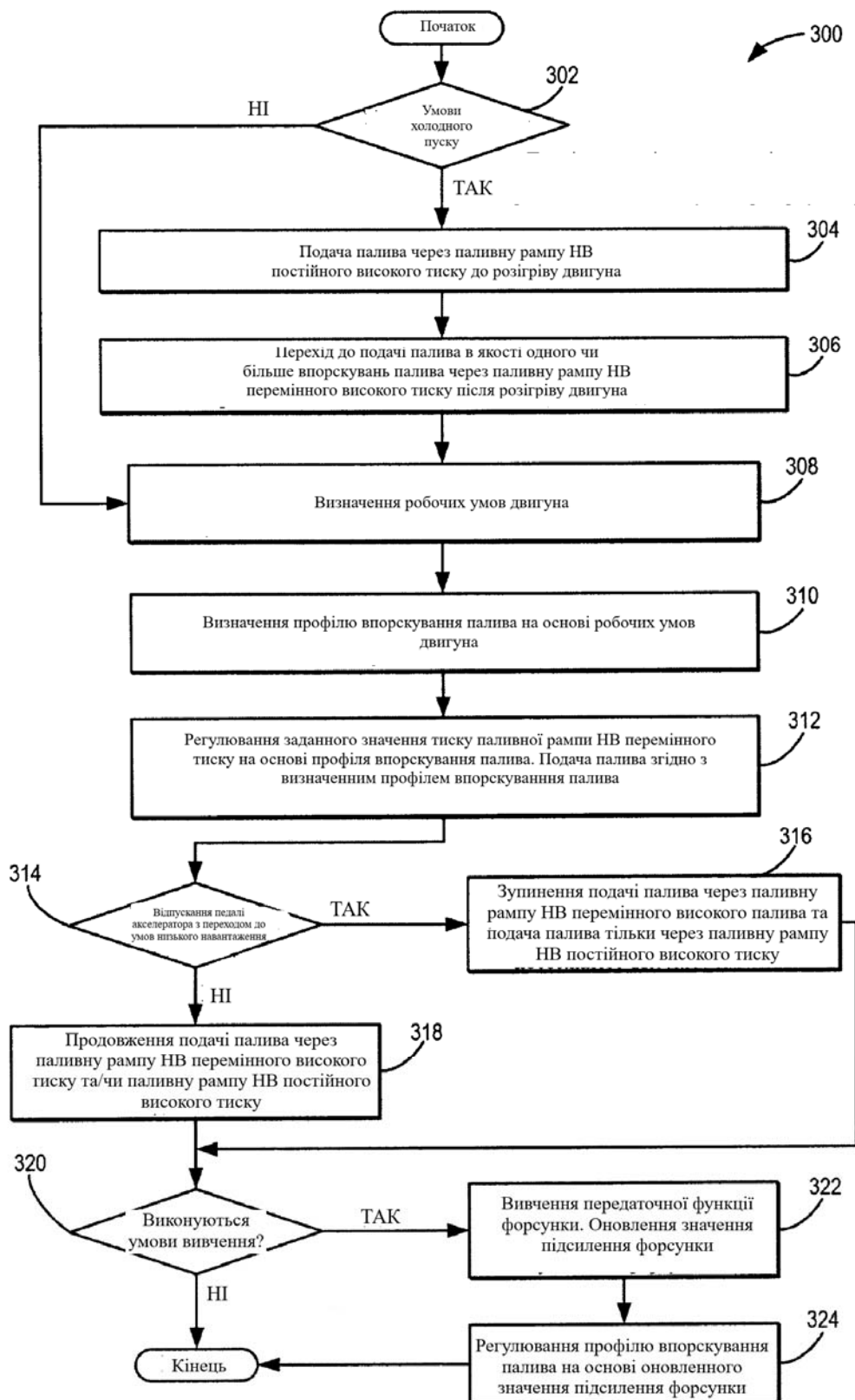


Рисунок 3.3 – Блок-схема способу роботи насоса високого тиску для подачі постійного високого тиску в першу паливну рампу безпосереднього впорскування і змінного високого тиску в другу паливну рампу безпосереднього впорскування

У зв'язку з цим у перші події згоряння після запуску двигуна впорскування виконується з другої паливної рампи постійного високого тиску. Завдяки стабільному тиску у другій рампі забезпечується подача більшої кількості палива за один імпульс, а також гарантоване формування якісного розпилу навіть у дуже холодних умовах. Впорскування з другої рампи може здійснюватися як у такті впуску, так і у такті стиску, причому допускається застосування багаторазових імпульсів у межах одного циклу. Це сприяє формуванню паливно-повітряної суміші з достатньою кількістю палива та необхідною дисперсністю, що істотно поліпшує стійкість роботи двигуна, забезпечує впевнене займання і зменшує ймовірність пропусків запалювання на холоді.

Після непродуктивного проміжку роботи, коли температура двигуна та каталізатора підвищується, а тиск у системі стабілізується, контролер поступово переводить подачу палива на першу паливну рампу змінного високого тиску. У міру прогрівання двигуна форсунки змінного тиску здатні працювати у повному діапазоні тисків і виконувати точні багатофазні впорскування, що включають раннє впорскування у такті впуску та додаткове впорскування у такті стиску. Це забезпечує оптимальний процес сумішоутворення та підвищує теплову і паливну ефективність двигуна.

Особливості алгоритму проявляються у випадках роботи на спиртовмісному паливі, наприклад на змішаному бензиново-етаноловому паливі з високою часткою етанолу. Таке паливо має значно вищу теплоту випаровування, тому в умовах холодного пуску для стабільної роботи двигуна потрібна більша маса палива. У процесі роботи на холоді збільшується частка впорскування у такті стиску, оскільки пізніше впорскування сприяє утворенню більш збагаченої зони біля електрода свічки запалювання, полегшуючи займання. Чим більший уміст спирту, тим більш вираженим стає цей ефект, а відтак зростає необхідність у коригуванні моментів упорскування.

					<i>KPM.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У підсумку реалізований алгоритм роботи паливної системи забезпечує надійну подачу палива у найскладніших режимах — зокрема при холодному та екстремально холодному пуску — завдяки використанню форсунок постійного високого тиску, які гарантують стабільний розпил та достатню подачу палива. Після прогрівання двигуна система автоматично переходить до роботи з рампи змінного високого тиску, підвищуючи точність дозування палива й ефективність згоряння. Така стратегія істотно покращує запуск, прогрів, стійкість обертів, знижує токсичність і забезпечує високу ефективність двигуна на всіх режимах.

На рис. 4.4 подана карта 400 фаз газорозподілу в поєднанні з положенням поршня, що дає можливість системі керування двигуном точно визначати оптимальні моменти для впорскування палива залежно від режиму роботи та температурних умов. Під час запуску двигуна контролер аналізує стан системи — температуру блоку, каталізатора, охолоджувальної рідини та навколишнього середовища — і на основі цих даних визначає, який профіль упорскування слід застосувати. Холодний пуск суттєво відрізняється від гарячого тим, що можливості форсунок зі змінним високим тиском обмежені через недостатній тиск у рампі, підвищену в'язкість палива та ризик перевищення допустимих навантажень на ущільнення. Тому на цей період призначений профіль упорскування з використанням рампи постійного високого тиску, яка забезпечує стабільність подачі палива незалежно від температурних умов.

Після запуску двигуна система функціонує за першим профілем, де упорскування здійснюється з рампи постійного високого тиску. Такий режим гарантує, що розпил палива буде однорідним, а краплі — дрібнодисперсними, що забезпечує надійне займання відразу після холодного запуску.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

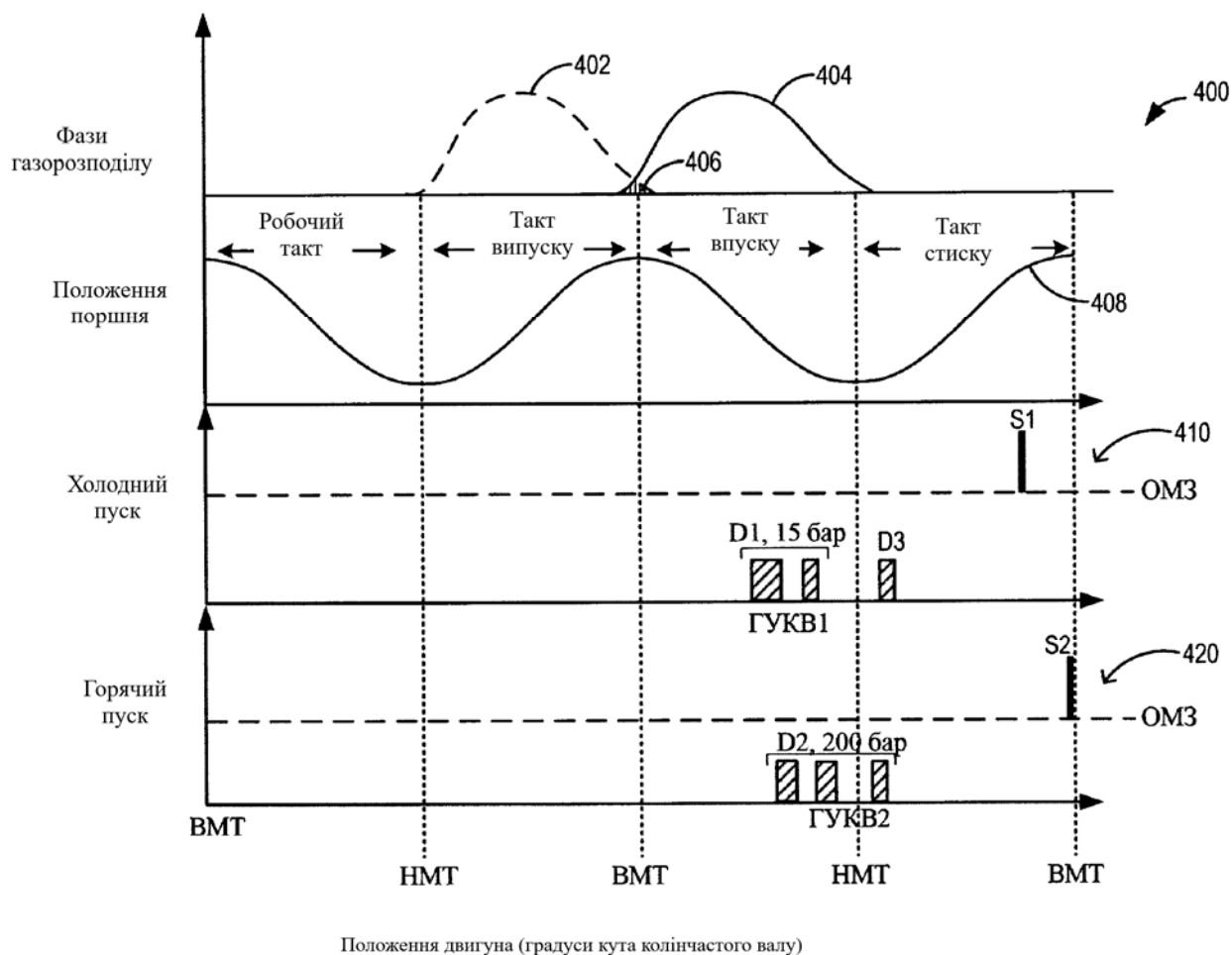


Рисунок 3.4 – Приклад профілів впорскування палива, який може використовуватися з паливною системою під час холодного пуску двигуна

Подача палива може включати один або декілька імпульсів у такті впуску. В умовах роботи з етаноловмісним паливом, наприклад E85, ця схема виявляється особливо ефективною, оскільки спирт має значну теплоту випаровування, і для холодного пуску потрібна збільшена маса палива. Використання множинних упорсків дозволяє уникнути значних втрат палива на стінках циліндра, що активно відбирають тепло. Одночасно контролер може коригувати кут випередження запалювання, зміщуючи його у бік більш раннього, щоб компенсувати уповільнення займання в умовах низьких температур.

Положення поршня на карті 400 визначено за допомогою синусоїдної кривої 408, яка демонструє циклічний характер руху: від BMT до HMT у

робочому ході, повернення до ВМТ у такті випуску і знову переміщення в НМТ у такті впуску. Криві 402 і 404 ілюструють роботу випускного і впускного клапанів відповідно. Впускний клапан відкривається наприкінці робочого такту, коли поршень знаходиться у НМТ, і залишається відкритим до майже повного завершення такту випуску. Впускний клапан відкривається або на початку, або трохи до початку такту впуску й закривається напередодні стиску. Період, коли обидва клапани відкриті одночасно, формує позитивне перекриття 406. Це перекриття відіграє важливу роль у продувці циліндра, формуванні вихрових потоків і поліпшенні сумішоутворення. Саме на етапі холодного запуску двигун часто використовує базове положення фаз, при якому перекриття є оптимальним для забезпечення максимальної стабільності роботи.

Профіль впорскування 410, що застосовується при холодному пуску, враховує обмеження системи змінного високого тиску. Через те, що рампа перемінного тиску не здатна забезпечити достатній тиск у перші цикли згоряння, упорскування здійснюється з рампи постійного тиску у вигляді одного або двох асиметричних імпульсів D1. При цьому тиск становить приблизно 15 бар. У дуже холодних умовах множинні впорски є більш ефективними, оскільки вони дозволяють розподілити загальну масу палива так, щоб уникнути надмірного осідання на стінках циліндра. В інших умовах перший профіль може містити суміш упорсків — основна частина подається на постійному тиску, а невелика частина може додатково подаватися при змінному тиску, якщо рампа встигає частково прогрітись. Проте впорскування зі змінного тиску в умовах холодного старту зазвичай не застосовується, оскільки максимальний тиск упорскування обмежений властивостями ущільнень форсунки, що не розраховані на високі навантаження в умовах низьких температур. Тому ефективний розпил забезпечує саме впорскування при постійному тиску, що гарантує стабільне займання й мінімізує ризик утворення твердих частинок. На противагу цьому, профіль 420, що

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

застосовується при гарячому пуску, реалізує повний потенціал системи змінного високого тиску. У цьому режимі паливо впорскується декількома імпульсами D2, що можуть виконуватися як у такті впуску, так і в такті стиску. Кількість імпульсів, їхні моменти і співвідношення мас залежить від температури двигуна та етанольного складу палива. Наприклад, при високому вмісті етанолу в гарячому режимі можливе зміщення значної частини палива у впорскування у такті стиску для формування зони збагачення біля свічки. Профіль D2 реалізується при тиску від 15 до 200 бар, що забезпечує дрібнодисперсний розпил та повне згоряння. У цьому режимі упорскування постійного тиску не використовується, адже система змінного тиску повністю працездатна. У гарячому режимі також коригується запалення — момент S2 може бути наближений до ВМТ чи навіть трохи після ВМТ, що зменшує детонаційну чутливість та покращує ефективність згоряння.

Якщо повернутися до логіки, наведеної на рис. 3.4, контролер продовжує роботу за холодним профілем стільки часу, скільки потрібно для досягнення каталізатором робочої температури або поки не завершиться встановлена кількість циклів згоряння. Після цього система автоматично перемикається на впорскування зі змінного високого тиску, використовуючи один або кілька імпульсів у такті стиску або впуску. За відсутності холодного пуску одразу застосовується алгоритм гарячого впорскування. Параметри профілю — маса палива, кількість упорсків, ширина імпульсів, тиск та співвідношення розподілу між рампами — визначаються відповідно до поточного навантаження та температурних характеристик двигуна.

Таким чином, карта 400 і відповідні профілі 410 та 420 демонструють комплексну та гнучку стратегію керування упорскуванням у двигунах із системою комбінованого високого тиску. Така стратегія дозволяє забезпечити стабільний холодний запуск, оптимальне сумішоутворення при гарячому пуску та високу паливну ефективність в широкому діапазоні робочих режимів.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

На рис. 3.5 показано, як у двигуні реалізовано процедуру вивчення й коригування передаточної функції форсунок безпосереднього впорскування. Коли виконуються певні умови – минув заданий час від попередньої калібровки, частота обертання та навантаження двигуна практично стали (наприклад, холостий хід або рух з круїз-контролем на рівній дорозі) – контролер фіксує «умови дослідження форсунок» і запускає послідовність 500. Спочатку система вибирає один циліндр і відповідну форсунку першої групи, під'єднаної до рампи змінного високого тиску. Для цього циліндра в пам'яті вже зберігається номінальна передаточна функція, яка пов'язує ширину імпульсу керування з масою впорснутого палива. Щоб перевірити її точність, контролер використовує другу форсунку цього ж циліндра, під'єднану до рампи постійного тиску, як «опорну». Паливо подається в обидві рампи під відомими тисками: у першу – як у контур змінного тиску, у другу – як у стабільний контур постійного тиску. Двигун переводиться в режим із практично сталою масою повітря на такт: положення дроселя або іншого органу регулювання повітря підтримується так, щоб витрата повітря залишалася сталою. Це дозволяє відокремити похибки подачі палива від впливу змін повітряного заряду та точніше оцінювати відхилення суміші за коефіцієнтом λ .

Далі для обраного циліндра вся потрібна маса палива спочатку впорскується лише однією форсункою (тією, що підлягає характеристизації) при постійному тиску. Виконується один упорск у такті впуску з певною шириною імпульсу. За сигналом датчика кисню у відпрацьованих газах (λ -зонда) контролер обчислює фактичне значення λ , порівнює його зі стехіометричним і зберігає у пам'яті разом із використаною шириною імпульсу.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

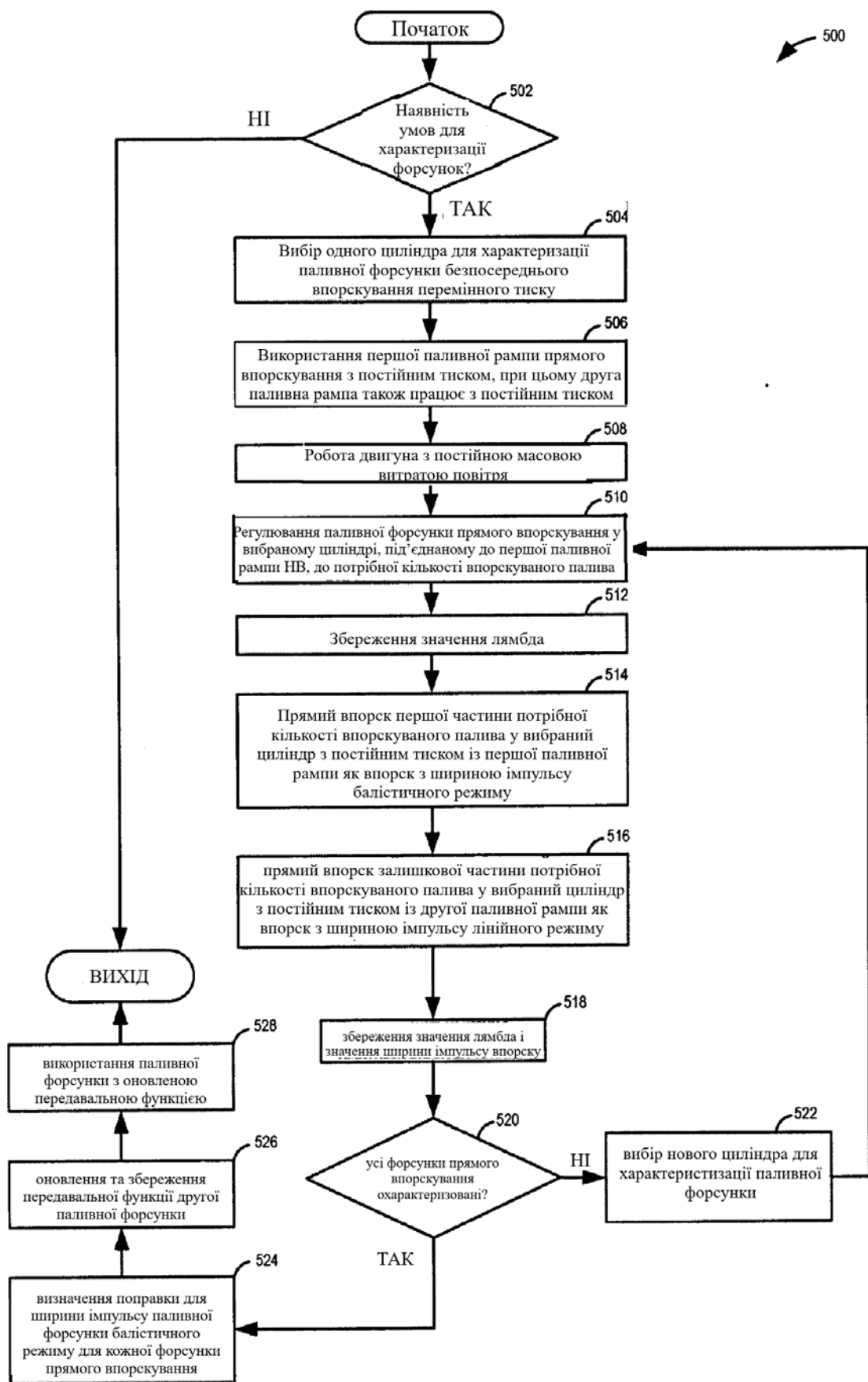


Рисунок 3.5 – Блок-схема способу для вивчення балістичного режиму форсунок безпосереднього впорскування

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ

Аркуш

46

Потім необхідну масу палива ділять між двома форсунками цього циліндра: перша форсунка працює з дуже малою, «баллістичною» шириною імпульсу, де її витрата вже нелінійна, друга – з довшою імпульсною тривалістю у лінійній зоні, де її передаточна функція відома з високою точністю. Наприклад, перша форсунка може подавати 30 % загальної маси палива, друга – 70 %. Обидва упорски виконуються у ході впуску. Після цього знову вимірюється значення λ , прив'язується до заданого розподілу палива та ширин імпульсів і зберігається.

Отримавши пару точок (або серію точок при кількох ітераціях з іншими співвідношеннями – 20/80, 10/90 тощо), контролер оцінює, як змінюється λ відносно номінального значення. Відносне відхилення λ використовується для обчислення поправочного коефіцієнта до передаточної функції форсунки у зоні малих імпульсів. Фактично система «знімає» реальну характеристику подачі форсунки в баллістичному режимі, не виводячи двигун із допустимого діапазону сумішоутворення, оскільки друга форсунка компенсує нестачу або надлишок палива.

Процес може повторюватися кілька разів для різних співвідношень розподілу палива, доки перша форсунка не буде доведена до мінімально можливої ширини імпульсу, при якій вона ще стабільно працює в нелінійній області. Паралельно ширина імпульсу другої форсунки змінюється так, щоб сумарна маса палива залишалася близькою до стехіометричної для даної маси повітря. Таким чином забезпечується комфортна робота двигуна, але при цьому накопичуються дані по поведінку форсунки в баллістичному режимі.

Коли характеристика форсунки для одного циліндра визначена, контролер переходить до наступного циліндра й повторює ту саму послідовність до тих пір, поки не будуть охарактеризовані всі форсунки, під'єднані до першої рампи. Для кожної форсунки на основі виміряних відхилень λ формуються поправки до її передаточної функції при малих ширинах імпульсу. Ці поправки математично виражаються як функція від

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

зміни λ та коефіцієнта розподілу палива між форсунками. Оновлені значення множаться на відповідні точки таблиці (або параметри функції), що описує витратну характеристику форсунки, і зберігаються в енергонезалежній пам'яті.

Після завершення калібровки двигун продовжує працювати вже на основі скоригованих передаточних функцій. При розрахунку команди на впорскування контролер використовує потрібну масу палива на цикл та оновлену характеристику форсунки, щоб обрати правильну ширину імпульсу. Завдяки цьому усуваються накопичені похибки подачі, пов'язані з виробничим розкидом, старінням форсунок, зміною властивостей палива та умов експлуатації. У підсумку реалізований за рис. 3.5 спосіб дозволяє автоматично, під час штатної роботи двигуна, періодично уточнювати передаточні функції форсунок у баллістичному режимі й надалі керувати впорскуванням більш точно, що покращує економічність, стабільність згоряння та знижує токсичність відпрацьованих газів.

На рис. 3.6 наведено приклад графіка, який показує, як змінюється поправка для паливної форсунки залежно від ширини імпульсу керування у зоні нелінійної (баллістичної) роботи форсунки, під'єднаної до рампи змінного високого тиску. Такий характер роботи характерний для форсунок 252 на Фіг. 2 (а також 166, 170 на Фіг. 1), коли тривалість імпульсу дуже мала.

По осі X відкладено ширину імпульсу форсунки (від 0 до часток мс), по осі Y – поправочний коефіцієнт витрати палива відносно номіналу. Номінальне значення дорівнює 1. Якщо фактична витрата форсунки менша від номінальної, коефіцієнт буде меншим за 1 (наприклад, 0,8). Тоді для компенсації управління будується так, щоб ефективна подача дорівнювала $1/0,8$. Якщо ж реальна витрата більша, коефіцієнт перевищує 1 (наприклад, 1,1). Окремі точки на графіку (позначені кружками) відповідають експериментальним значенням для різних ширин імпульсу.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

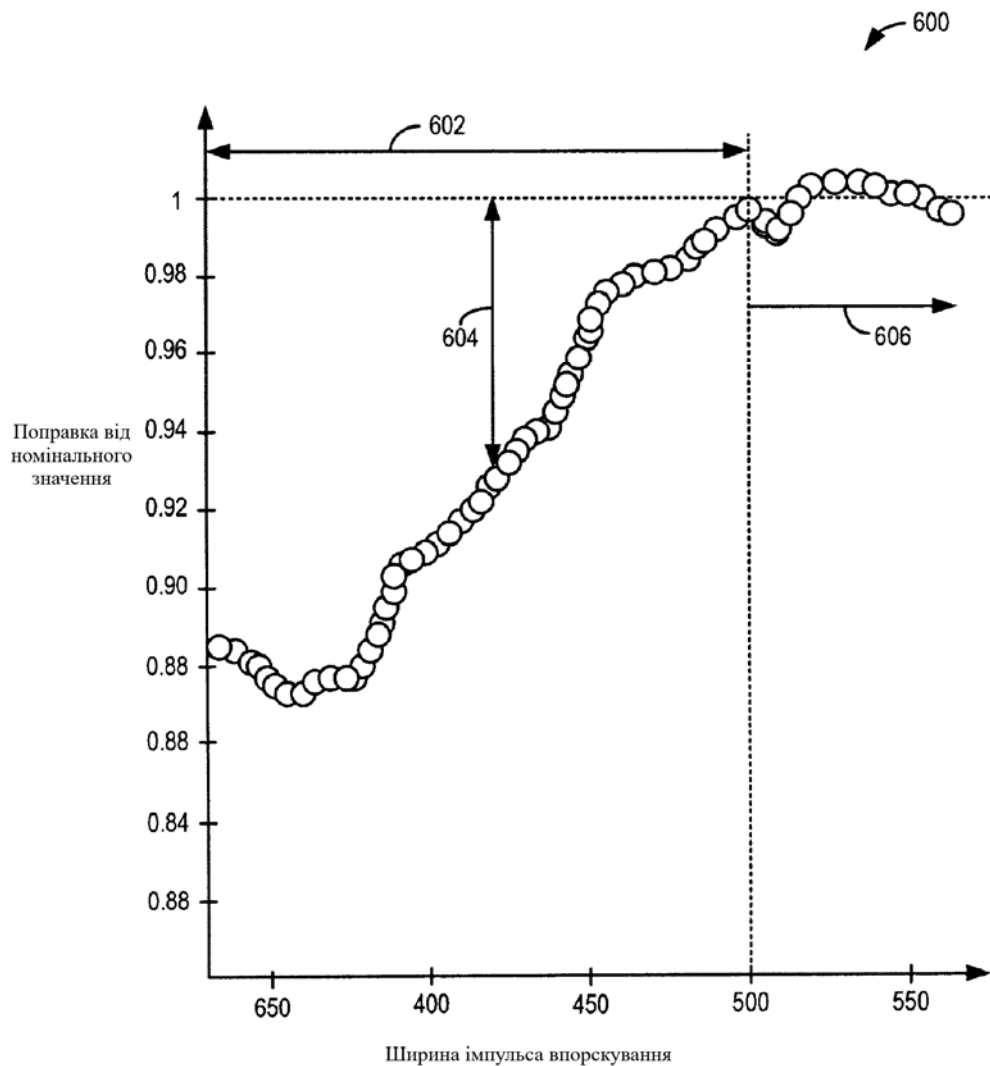


Рисунок 3.6 – Приклад вивчення балістичної області форсунки безпосереднього впорскування на основі зміни значення лямбда для відпрацьованих газів

У наведеному прикладі форсунка змінного високого тиску переходить у балістичний режим при ширині імпульсу меншій приблизно за 500 мкс. Цю область позначено стрілкою 602. За тривалості імпульсу понад 500 мкс форсунка працює в лінійній зоні, де її витрата відповідає номінальній (коефіцієнт ≈ 1) – діапазон позначено стрілкою 606. Якщо форсунка працює, наприклад, при ширині імпульсу 420 мкс, реальна витрата становить близько 0,93 від номінальної (стрілка 604), тобто фактично подається лише 93 % потрібної кількості палива. У цьому випадку для досягнення бажаної маси

палива контролер використовує поправку: запитувана кількість множиться на $1/0,93 \approx 1,075$. При ще менших ширинах імпульсу поправочний коефіцієнт зменшується, а при імпульсах понад 500 мкс знову прямує до значення 1, що відповідає роботі без корекції.

Усі ці поправочні коефіцієнти, отримані в процесі характеристики за методом рис. 3.5, можуть зберігатися у вигляді таблиці або функції як частина передаточної функції форсунки. Таким чином описується поведінка форсунки в баллістичному режимі, де залежність «імпульс–витрата» є нелінійною.

У режимі навчання контролер керує насосом високого тиску так, щоб розділити впорскування у межах одного циклу циліндра на два компоненти:

- упорскування з змінним високим тиском через першу форсунку, що працює в баллістичному режимі (мала ширина імпульсу, нелінійний потік);
- упорскування з постійним тиском через другу форсунку, що працює у лінійній зоні (більша ширина імпульсу, лінійна витрата).

Обидві форсунки налаштовуються так, щоб сумарна подача забезпечувала стехіометричне значення λ . На основі вимірюного коефіцієнта λ у відпрацьованих газах контролер уточнює передаточну функцію першої форсунки, яка працює в баллістичній зоні. Після завершення процедури навчання ця оновлена характеристика використовується для подальшої роботи: перша форсунка (змінного тиску, баллістичний режим) отримує паливо з першої рампи, під'єднаної до виходу насоса високого тиску, друга форсунка (лінійний режим) – з другої рампи, під'єднаної до його впуску.

Під час такої процедури двигун працює на сталій частоті обертання та при майже сталому масовому витраті повітря, а тиск у першій рампі підтримується на заданому рівні. Це забезпечує точне виділення впливу самої форсунки на λ і дозволяє побудувати достовірну карту поправок для малих ширин імпульсу.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Якщо тиск у рампі змінного високого тиску надто високий і необхідна ширина імпульсу стає меншою за допустиму, система автоматично переходить на впорскування з рампи постійного тиску, яка забезпечує точнішу дозу палива. Аналогічний перехід виконується при несправності насоса високого тиску або датчика тиску рампи. При високих навантаженнях та роботі у режимі збагачення комбіноване використання двох рамп дозволяє

виконувати кілька дрібних упорскувань, зменшуючи смачивання стінок циліндра та знижуючи викиди твердих часток.

На графіках карти 700 показано:

702 – зміна частоти обертання;

704 – сигнал від педалі акселератора;

706 – впорскування зі змінного високого тиску;

708 – впорскування з постійного тиску.

Усі дані наведено у часовій області.

У проміжку t_0 – t_1 двигун працює в умовах середнього навантаження, і паливо подається обома типами форсунок: частина – через рампу змінного тиску, частина – через рампу постійного тиску.

У момент t_1 відбувається часткове відпускання педалі акселератора (навантаження ще вище порогового). Система пропорційно зменшує кількість палива з обох рамп.

У момент t_2 педаль відпускається більше, і навантаження падає нижче порогового. Відтак система тимчасово повністю припиняє впорскування зі змінної рампі й переходить на впорскування лише постійним тиском, оскільки на малих імпульсах форсунки змінного тиску працюють із помітною похибкою. Такий режим забезпечує точне дозування палива на малій подачі.

У момент t_3 впорскування зі змінної рампі знову відновлюється, коли навантаження та імпульси повертаються у допустимий діапазон.

Згідно дослідних даних при використанні системи впорскування палива з постійним та перемінним тиском питома ефективна витрата палива зменшується на 1,5% (в нашому випадку на 4 г/(кВт×год) – з 259 до 255 г/(кВт×год)).

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Мета дослідження полягає в аналітичному обґрунтуванні економічної доцільності використання системи впорскування з постійним та перемінним тиском.

У таблиці 4.1 приведені техніко-економічні показники двигуна 4ЧН8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost) з штатними та модернізованими форсунками.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники двигуна

Найменування	Позначення	Розмірність	Базовий двигун	Спроектований двигун
Потужність	N_e	кВт	209	209
Частота обертання	n	хв^{-1}	5600	5600
Діаметр циліндра, м	D	м	0,087	0,087
Хід поршня, м	S	м	0,094	0,094
Питома витрата палива	g_{ep}	кг/кВт·год	0,259	0,255
Механічний ккд	η_m	-	0,9	0,9
Питома витрата масла	g_m	кг/кВт·год	0,0022	0,0022
Ціна двигуна	C	грн	400000	430000
Ціна палива	C_{π}	грн/кг	60	60
Ціна масла	C_m	грн/кг	50	50
Час роботи за рік	t	год	500	500
Число контрольних ремонтів	η	-	1	1
Сумарний коефіцієнт по капітальних ремонтах	$\varepsilon_{\min}$	-	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

$$Z_n = N \cdot \Pi_n \cdot g_{\varepsilon}, \text{ грн}$$

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.25.04.00.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	88825,0	88825,0
Термін служби	T	рік	10,0	10,0
Річні поточні витрати на паливо	Z_p	грн	1380340,5	1359022,5
Річні поточні витрати на масло	Z_m	грн	9770,8	9770,8
Річні витрати на поточний ремонт	$Z_{п.р}$	грн	333,3	358,3
Річні витрати на капітальний ремонт	$Z_{к.р}$	грн	545,5	586,4
Річний економічний ефект у споживача	U_1	грн	1390990,0	1369737,9
	U_1^{16}	грн	1390990,0	-
Річний економічний ефект у споживача від використання спроектованого двигуна	E_k	грн	68086,6	
Додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна	ΔK	грн	30000,0	
Річна економія при експлуатації модернізованого двигуна	ΔS	грн	21252,1	
Час окупності модернізованого двигуна	$T_{окуп}$	рік	1,41	
		місяць	16,94	

Річний економічний ефект спроектованого двигуна в порівнянні з базовим двигуном за рахунок використанням вдосконаленої паливної системи у розмірі 68086,6 грн. Заміна базового двигуна окупиться приблизно за 1,4 роки.

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Паливні системи автомобільних бензинових двигунів належать до технологічних систем підвищеної небезпеки, оскільки працюють із легкозаймистими рідинами, високим тиском, токсичними випарами та електронними засобами керування. У сучасних умовах розвитку автотранспорту питання забезпечення охорони праці та безпечної експлуатації інжекторних паливних систем набуває особливої актуальності. Удосконалення систем керування двигуном, підвищення робочих тисків у паливній рампі, зменшення об'ємів камер згоряння та широке застосування електронних компонентів вимагають від фахівців високого рівня знань у сфері безпеки, а також дотримання комплексу технічних, організаційних та профілактичних заходів [7].

Нормативною основою забезпечення охорони праці при роботі з паливними системами є Закон України «Про охорону праці», Кодекс цивільного захисту України, ДСТУ та НПАОП, що регламентують безпечну експлуатацію обладнання, що працює з вибухопожежонебезпечними рідинами. Додатково в роботі застосовуються міжнародні стандарти ISO, EN, а також правила пожежної безпеки (НАПБ), які визначають вимоги до поводження з ЛЗР, вентиляції, заземлення, технічного обслуговування та організації робочих місць.

Інжекторні паливні системи мають складну структуру, що включає паливний бак, електробензонасос, фільтри, магістралі подачі та зворотного палива, паливну рампу високого тиску, форсунки, регулятори тиску, а також електронну систему керування (ЕБУ). Усі ці компоненти працюють у режимах, що супроводжуються високими ризиками для персоналу. Основними небезпечними факторами є: розбризкування бензину під високим тиском, займання парів пального, вибухові концентрації, токсичний вплив

					<i>KPM.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

бензинових випарів, ураження електричним струмом від електрообладнання системи упорскування, а також ризики термічних опіків. Саме тому на етапах експлуатації, технічного обслуговування та ремонту паливних систем необхідно забезпечувати комплексну систему безпеки відповідно до національних і міжнародних нормативів.

Токсичні та пожежонебезпечні властивості бензину визначають високий ступінь ризику. Бензин має низьку температуру спалаху, високі показники випаровування та здатний утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші. Пари бензину важчі за повітря й накопичуються в нижніх шарах приміщення, що створює ризик прихованих осередків займання. До складу бензину входять ароматичні вуглеводні, які при тривалому вдиханні здатні спричиняти ураження нервової системи, головний біль, зниження концентрації уваги, алергічні реакції. У зв'язку з цим роботи, пов'язані з інжекторними паливними системами, повинні проводитися у добре вентильованих приміщеннях або на відкритому повітрі, із застосуванням засобів індивідуального захисту органів дихання та шкіри.

Експлуатація електробензонасосів і систем високого тиску вимагає суворого дотримання правил безпеки. У сучасних інжекторних системах тиск може досягати 3–20 МПа (в системах GDI — до 35 МПа), тому навіть незначне пошкодження магістралей чи неправильне роз'єднання з'єднань може спричинити різке викидання палива під тиском. Опіки, ураження очей, потрапляння бензину на шкіру та ризик займання — основні небезпеки, що супроводжують такі роботи. Перед виконанням будь-яких операцій необхідно здійснювати скидання тиску, від'єднання системи живлення та дотримуватися вимог інструкцій заводу-виробника [8].

До особливо небезпечних факторів належить взаємодія інжекторних систем із високовольтними елементами системи запалювання. Оскільки інжекторні двигуни використовують котушки запалювання, високовольтні дроси та свічки, існує ризик ураження електричним струмом при

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

недотриманні вимог безпеки. Навіть при вимкненому двигуні система може зберігати заряд на ємнісних елементах, що вимагає витримування паузи перед початком робіт.

Забезпечення охорони праці при експлуатації паливних систем передбачає застосування комплексу організаційних заходів. До них належать: проведення інструктажів, навчання персоналу правилам безпечної роботи з ЛЗР, призначення відповідальних осіб, документування процесів технічного обслуговування, контроль наявності та справності вентиляційних систем, перевірка пожежних засобів (вогнегасників, шаф пожежогасіння), забезпечення ремонтних зон і ділянок відповідними знаками безпеки. Працівники повинні проходити медичні огляди, оскільки робота з бензином та електронною апаратурою може вимагати відсутності певних протипоказань.

Організація безпечних робочих місць — ключовий елемент зменшення ризиків. Приміщення повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією, антистатичними підлогами, системами заземлення для запобігання виникненню іскор статичної електрики. Заборонено використовувати відкритий вогонь, включати іскрометальні електроінструменти або курити у виробничих зонах. Необхідно забезпечити правильне зберігання бензину в спеціальних герметичних ємностях із вибухозахищеними кришками, а також обладнати місця для збору відпрацьованих паливно-мастильних матеріалів.

Технічні заходи охоплюють утримання системи впорскування в технічно справному стані, своєчасну заміну фільтрів, перевірку герметичності магістралей, стану ущільнень, клапанів і з'єднань. Особливу увагу необхідно приділяти контролю стану паливної рампи та форсунок. Заборонено працювати з пошкодженими форсунками або магістралями, оскільки це може спричинити витoki палива та вибухонебезпечні ситуації. При виконанні діагностики системи упорскування за допомогою стендів чи діагностичного

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

обладнання слід використовувати виключно сертифіковані пристрої, що відповідають вимогам електробезпеки.

Окремого розгляду потребують роботи з електронною системою керування двигуном — ЕБУ. Мікропроцесорні модулі можуть бути вразливими до електростатичних розрядів, електромагнітних впливів та неправильного підключення. Будь-які ремонтні або діагностичні операції необхідно проводити зі знеструмленим бортовим живленням та з дотриманням інструкцій щодо статичного захисту. Неприпустимо виконувати зварювальні роботи на автомобілі без попереднього від'єднання електронних блоків керування.

Важливим аспектом охорони праці є пожежна безпека. Усі роботи з паливними системами повинні проводитися із застосуванням вуглекислотних, порошкових або аерозольних вогнегасників, які дозволяють гасити пожежі класу В — займання легкозаймистих рідин. У виробничих приміщеннях мають бути передбачені евакуаційні шляхи, аварійне освітлення, протипожежні двері та датчики виявлення загорянь.

Захист працівників забезпечується застосуванням засобів індивідуального захисту: спеціального одягу, гумових рукавичок, захисних окулярів, респіраторів для захисту від парів бензину, антистатичного взуття. Приділяється увага правильній організації робочої пози, висоті розташування автомобіля на підйомнику, використанню підставок та домкратів з відповідними сертифікатами.

Задля попередження аварійних ситуацій важливо своєчасно проводити технічний контроль паливних систем. До профілактичних заходів належать регулярні перевірки стану паливного бака, датчика рівня палива, герметичності люків і з'єднань, чистоти фільтрів тонкого очищення, функціонування клапана адсорбера та системи уловлювання парів пального (EVAP). Несправності EVAP можуть спричинити викид парів бензину до атмосфери та створити загрозу вибуху у закритих приміщеннях.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Важливим елементом управління ризиками є застосування системного підходу до оцінювання небезпек. Для цього використовуються методи аналізу небезпечних факторів (HAZOP, FMEA), що дозволяють виявити потенційні ризики, оцінити наслідки їх реалізації та розробити заходи запобігання. До типових ризиків належать: витоки палива, перегрів магістралей, закупорювання фільтрів, відмови електронних датчиків, некоректна робота ЕБУ, перевищення тиску в паливній рампі, іскріння контактів, порушення герметичності бака.

Усі роботи з паливними системами повинні виконуватися тільки кваліфікованими фахівцями, які володіють навичками роботи з інжекторним обладнанням, діагностичними приладами, спеціальними знімачами, фіксаторами, манометрами й устаткуванням для перевірки форсунок. Працівники повинні знати порядок дій під час аварійних ситуацій, правила надання першої медичної допомоги при опіках, отруєнні парами пального, ураженні електричним струмом.

Забезпечення охорони праці при експлуатації інжекторних паливних систем є комплексним процесом, що охоплює технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та профілактичні заходи. Виконання вимог національних та міжнародних стандартів, підтримання високого рівня професійної підготовки персоналу, а також дотримання технологічної дисципліни дозволяють мінімізувати ризики травмування, запобігти аваріям і забезпечити безпечну роботу автотранспорту. Безпека робіт із паливними системами є обов'язковою умовою сучасного автомобільного сервісу та важливим фактором формування культури охорони праці.

Забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації паливних систем бензинових інжекторних двигунів передбачає не лише дотримання технологічної дисципліни та інструкцій заводу-виробника, але й впровадження системного підходу до управління ризиками. Враховуючи складність сучасних автомобільних паливних систем, підвищені робочі тиски

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

та взаємодію електронних і механічних компонентів, ризики виникнення аварійних ситуацій підвищуються у разі порушення вимог безпеки. У зв'язку з цим особливого значення набуває планова організація процесу технічного обслуговування, проведення навчання персоналу та впровадження систем внутрішнього контролю, які ґрунтуються на принципах міжнародних стандартів ISO серії 45000, що регламентують системи управління охороною праці.

Одним із ключових аспектів безпечної роботи з інжекторними паливними системами є правильна організація взаємодії між працівниками різних спеціальностей. Автомобільний механік, автоелектрик, діагност, майстер цеху та відповідальний за пожежну безпеку повинні здійснювати свою діяльність у координації. Невідповідність дій між спеціалістами може призвести до небезпечних ситуацій, наприклад, коли електрик від'єднує живлення системи, а механік у цей час виконує операції на паливних магістралях під тиском. Тому важливим організаційним заходом є встановлення чіткої системи комунікацій, журналів реєстрацій робіт, а також режиму дозволів на виконання небезпечних операцій.

Під час експлуатації автомобільних інжекторних паливних систем значну роль відіграють санітарно-гігієнічні фактори. Пари бензину містять леткі органічні сполуки, бензол, толуол, ксилол та інші токсичні речовини, які за тривалого вдихання здатні призводити до порушень функціонування центральної нервової системи, інтоксикацій та алергічних реакцій. З цієї причини робочі місця мають відповідати вимогам санітарних норм ДСН, а концентрація парів бензину не повинна перевищувати встановлених ГДК. У приміщеннях, де проводиться ремонт інжекторних систем, повинні бути встановлені датчики контролю повітря, системи аварійної вентиляції та засоби для нейтралізації витоків ЛЗР.

Важливим способом зниження ризиків є належна організація технічного обслуговування обладнання. Зокрема, паливні насоси високого та низького

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

тиску, форсунки, регулятори тиску та фільтри повинні регулярно перевірятися на стендах, що відповідають вимогам безпеки та мають вибухозахищене виконання. Використання несертифікованих приладів або саморобних адаптерів створює високий ризик аварії, оскільки бензин під високим тиском може миттєво вихлюпнутися та спричинити займання. Первинна перевірка всіх приладів повинна проводитися під контролем інженера з охорони праці, який підтверджує їх відповідність стандартам ДСТУ та EN.

Під час діагностики інжекторних систем особливу увагу необхідно приділяти роботі з контролерами, сканерами та іншими електронними пристроями, які підключаються до діагностичного роз'єму OBD-II. Мікропроцесорне обладнання є чутливим до електромагнітних перешкод, стрибків напруги та статичної електрики. Тому працівник повинен використовувати антистатичні браслети, заземлені килимки та обладнання з відповідними захисними схемами. Забороняється проводити діагностику системи упорскування під час зварювальних робіт на автомобілі або заряджання акумулятора високим струмом.

Важливою складовою безпечної експлуатації є правильне поводження з паливом при заправленні, зливі та переливанні бензину. Згідно з вимогами НАПБ, зберігання легкозаймистих рідин повинно здійснюватися у спеціальних металевих або сертифікованих полімерних каністрах із щільними кришками, а також у вибухозахищених шафах. Заборонено використовувати пластикові пляшки, несертифіковані тари або пошкоджені ємності. Під час переливання палива необхідно забезпечувати заземлення металевих ємностей, щоб запобігти виникненню статичного заряду, який може викликати іскру та займання.

У технічних центрах повинні бути передбачені аварійні комплекти для ліквідації розливів пального. До їх складу входять сорбенти, піскові суміші, інертні порошки, спеціальні серветки та ємності для збору забруднених

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

матеріалів. Ліквідацію розливів необхідно проводити негайно, оскільки навіть кілька мілілітрів бензину, що випаровуються, здатні створити вибухонебезпечну концентрацію при наявності джерела запалювання.

Під час виконання робіт з паливною рампою особливу увагу необхідно приділяти скиданню тиску. У системах MPI (багатоточковий упорск) тиск може досягати 3–5 бар, а в системах GDI (безпосередній упорск) – 20–35 бар. Навіть після вимкнення двигуна тиск тривалий час утримується в системі, що зумовлено конструктивними особливостями регуляторів та зворотних клапанів. Перед роз'єднанням паливних магістралей необхідно скористатися спеціальною процедурою, яка передбачена виробником автомобіля, або використати спеціальні клапани для безпечного скидання тиску. Неприпустимо роз'єднувати з'єднання шляхом механічного розриву або різкого відкручування з'єднувальних фітінгів.

Додатковими небезпечними факторами є роботи, пов'язані з промиванням паливної системи. Промивні рідини, як правило, містять високу концентрацію органічних розчинників, що можуть бути ще небезпечнішими за бензин. Усі роботи з промиванням повинні проводитися на відкритих майданчиках або в приміщеннях з посиленою вентиляцією. Заборонено використовувати промивні рідини в системах із пошкодженою ізоляцією або підтіканням, оскільки потрапляння агресивних компонентів на високовольтні елементи може спричинити коротке замикання.

Травмування працівників найчастіше трапляється через порушення правил поводження з інструментами. Використання інструментів зі стерненими рукоятками, пошкодженими ізоляціями або неправильний вибір типу ключа може спричинити зрив, різке відкручування елементів та травмування рук. Тому всі інструменти повинні відповідати стандартам і проходити регулярну перевірку. Заборонено використовувати ударний інструмент під час робіт з паливними магістралями та інжекторами.

					<i>KPM.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Важливою складовою безпеки є проведення інструктажів. На підприємствах необхідно здійснювати: вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, повторний інструктаж, позаплановий і цільовий. Окремо проводиться інструктаж з пожежної безпеки. Працівники повинні знати порядок дій у разі виникнення пожежі, правила евакуації, місця розташування вогнегасників, а також мати навички використання засобів пожежогасіння. Персонал зобов'язаний вміти надавати першу допомогу при опіках, отруєнні парами бензину, травмуванні внаслідок вибуху або займання.

Ретельний контроль технічного стану приміщень і обладнання має важливе значення. Стан вентиляційної системи повинен контролюватися щонайменше раз на півроку. Вибухозахищене електрообладнання повинно проходити щорічну перевірку. Усі підйомники, домкрати та механізми повинні відповідати НПАОП і мати паспорти, що підтверджують їх справність.

Системи зберігання даних та електронні блоки керування потребують захисту від пошкоджень. Працівник повинен уникати використання смартфонів, планшетів чи іншої апаратури поблизу компонентів паливної системи, оскільки деякі пристрої створюють електромагнітні поля, які можуть впливати на роботу датчиків і підсилювачів.

Не менш важливим аспектом є забезпечення безпеки під час випробувань двигуна на холостому ході або з навантаженням. Тестування паливної системи повинно проводитися в спеціально обладнаних зонах із системами відведення вихлопних газів, датчиками контролю температури та вентиляційними установками. Перед запуском двигуна необхідно переконатися, що всі інструменти, ганчір'я та сторонні предмети винесені з моторного відсіку.

Управління ризиками при експлуатації інжекторних систем також включає аналіз можливих відмов електронних компонентів. Відмова датчика тиску палива може призвести до неконтрольованого підвищення тиску, що

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

створює вибухонебезпечну ситуацію. Відмова регулятора тиску може спричинити збагачення суміші, підвищення токсичності та перегрів каталізатора. Несправність форсунки може призвести до підтікання палива, що створює ризик займання. Тому регулярна діагностика датчиків, перевірка параметрів за допомогою сканера та аналіз коригувальних коефіцієнтів є важливими профілактичними заходами.

Забезпечення безпечних умов праці при експлуатації інжекторних паливних систем повинно базуватися на комплексному підході. Він включає технічні, організаційні та навчальні заходи, а також постійний моніторинг стану обладнання. Дотримання вимог охорони праці є ключовою умовою стабільної роботи автосервісів, безпеки персоналу та ефективного обслуговування автомобілів з інжекторними бензиновими двигунами [9].

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження конструкції, режимів роботи та перспектив удосконалення паливної системи бензинового двигуна 4CH8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost), а також розроблені та обґрунтовані технічні заходи щодо підвищення її ефективності.

У першому розділі проведено детальний аналіз конструктивних особливостей і області застосування двигуна 4CH8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost). Наведено огляд сімейства EcoBoost, визначено ключові технічні рішення, що забезпечують високі показники потужності та економічності.

У другому розділі досліджено сучасні тенденції розвитку систем впорскування бензинових двигунів. Визначено переваги систем із комбінованим, багатоконтурним і надвисоким тиском впорскування. Окремо розглянуто перспективні технології: п'єзоінжектори, мультиімпульсне впорскування, комбіновані PFI+GDI системи, інтелектуальне керування з використанням адаптивних алгоритмів. Зроблено висновок, що системи подвійного тиску можуть компенсувати недоліки стандартного GDI та забезпечити стабільність у всіх режимах роботи.

У третьому розділі виконано аналіз, моделювання та оцінку ефективності системи впорскування з постійним і змінним тиском для двигуна Ford 2.3L EcoBoost. Досліджено роботу паливних контурів, насоса високого тиску, клапанної групи та подвійних рамп. Показано, що друга рампa з постійним стабілізованим тиском покращує якість впорскування в режимах низького навантаження, мінімізує ризик пропусків форсунок та покращує рівномірність сумішоутворення. Основна рампa зі змінним тиском забезпечує необхідний тиск для високих навантажень.

У розділі економічного обґрунтування виконано порівняння базової системи впорскування з удосконаленою. Результати показали економічну

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

доцільність запропонованого рішення: зменшення питомої витрати палива, підвищення ефективності згоряння, скорочення втрат на перехідних режимах і можливість зниження експлуатаційних витрат. Доведено, що запропонована модернізація забезпечує техніко-економічний ефект без негативного впливу на ресурс двигуна.

У п'ятому розділі розроблено комплекс заходів щодо забезпечення охорони праці при роботі з паливною системою. Враховано вимоги Закону України «Про охорону праці», ДСТУ, НПАОП, норм пожежної безпеки та міжнародних стандартів .

Результати виконаної роботи демонструють, що удосконалення паливної системи бензинового двигуна 4ЧН8,7/9,4 (Ford 2.3L EcoBoost) шляхом впровадження системи впорскування з постійним та перемінним тиском є технічно обґрунтованим та економічно доцільним. Запропонована система поєднує переваги стабільного низького тиску для якісного сумішоутворення на малих навантаженнях та можливості високого тиску для реалізації максимальної потужності на високих режимах. Це дозволяє підвищити ефективність згоряння, покращити показники економічності, зменшити токсичність відпрацьованих газів та стабілізувати роботу двигуна в широкому діапазоні режимів.

Отримані результати підтверджують досягнення мети роботи та повне виконання поставлених завдань. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані у подальших дослідженнях, модернізації бензинових систем впорскування та створенні нових високоефективних силових агрегатів.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://www.fordcomponentsalesllc.com/powertrain/ford-2-3l-ecoboost-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. https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_injection.
5. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни : підручник. Київ : Арістей, 2006. – 476 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. 1: Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. 493 с.
7. 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.
8. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.
9. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

					<i>КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		