

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 АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА В МАЛОЛІТРАЖНОМУ АВТОМОБІЛЬНОМУ ДВИГУНІ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ

Здобувач освіти



Антон МАТВЄЄВ

Миколаїв 2025

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вид двигуна 4Ч 8,9/10 (Mazda Skyactiv-G 2.5); Поперечний переріз двигуна
4Ч 8,9/10 (Mazda Skyactiv-G 2.5); Схема паливної системи; Переріз елементів
двигуна; Розташування елементів паливної системи

7. Консультанти розділів роботи

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

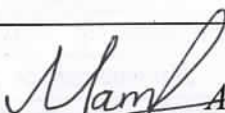
8. Дата видачі завдання _____

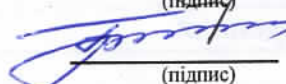
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ 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) Антон МАТВЄСВ
 (прізвище та ініціали)


 (підпис) Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ
 (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення показників роботи малолітражного автомобільного двигуна шляхом використання альтернативного палива. Розглянуто економічне обґрунтування. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 60 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 8 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: двигун з примусовим запалюванням, водень, паливна система, форсунка.

The qualification work presents a set of measures to improve the performance of a small-displacement automobile engine through the use of alternative fuels. The economic justification was considered. Measures to ensure occupational safety are also provided.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 60 pages of explanatory note. 8 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1.

Key words: spark ignition engine, hydrogen, fuel system, injector.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Особливості застосування двигуна 4Ч 8,9/10 (Mazda Skyactiv-G 2.5) на легковому автомобільному транспорті.....	5
Розділ 2. Аналіз використання альтернативних палив в автомобільних двигунах.....	16
Розділ 3. Визначення ефективності використання водню та біоетанолу в двигуні 4Ч 8,9/10 (Mazda Skyactiv-G 2.5).....	31
Розділ 4. Економічне обґрунтування.....	45
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	49
Висновки.....	57
Список використаної літератури.....	60
Додаток А. Загальний вид двигуна 4Ч 8,9/10 (Mazda Skyactiv-G 2.5).....	61
Додаток Б. Поперечний переріз двигуна 4Ч 8,9/10 (Mazda Skyactiv-G 2.5)....	62
Додаток В. Схема паливної системи.....	63
Додаток Г. Переріз елементів двигуна.....	64
Додаток Д. Розташування елементів паливної системи.....	65

ВСТУП

Актуальність досліджень використання альтернативних палив в автомобільних двигунах зумовлена зростанням екологічних вимог, необхідністю скорочення викидів парникових газів та обмеженістю запасів викопного палива. Автомобільний транспорт є одним з основних джерел забруднення довкілля, тому застосування альтернативних палив (водню, біопалив, спиртів, синтетичних палив) дозволяє знизити токсичність відпрацьованих газів і підвищити енергоефективність двигунів. Крім того, розвиток сучасних систем безпосереднього впорскування та електронного керування ДВЗ створює технічні передумови для ефективної адаптації двигунів до роботи на альтернативних видах палива. У зв'язку з цим дослідження в даному напрямі є важливими для підвищення екологічної безпеки, енергетичної незалежності та сталого розвитку транспортної галузі.

Мета даної роботи – розробити умови по покращенню параметрів роботи двигуна 4Ч 8,9/10 (Mazda Skyactiv-G 2.5) шляхом використання альтернативного палива.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Аналіз сучасних способів використання альтернативних палив в автомобільних двигунів.
2. Аналіз ефективності використання водню та біоетанолу.
3. Оцінка запропонованих рішень, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – двигун, працюючий на альтернативному паливі.

Предмет дослідження – параметри двигуна, працюючий на альтернативному паливі.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА 4Ч 8,9/10 (MAZDA
SKYACTIV-G 2.5) НА ЛЕГКОВОМУ АВТОМОБІЛЬНОМУ
ТРАНСПОРТІ

В основі автомобілів Mazda завжди застосовувалась концепція - драйву, захоплення швидкістю, те ні з чим незрівняне відчуття насолоди дорогою, слухняний будь якому наміру водія. Zoom-Zoom, як кажуть виробники. У своєму прагненні зробити це почуття ще більш сильним, творці Mazda зробили прорив в автомобілебудуванні, ім'я якому – технології SKYACTIV [1].

Створюючи SKYACTIV, інженери компанії поєднали непоєднуване: кардинально поліпшили експлуатаційні якості автомобіля, домоглись економії палива, зменшили кількість шкідливих речовин у вихлопних газах і, водночас, підвищили безпеку автомобіля, швидкісні характеристики і керованість які, характерні для Mazda.

Технології SKYACTIV представлені в новому поколінні моделей Mazda: Mazda CX-5 та новій Mazda 6 – з новими двигунами, коробками передач, кузовом і шасі.

Намагаючись зробити екологічно чисті автомобілі загальнодоступними, Mazda сконцентрувались на оптимізації системи внутрішнього згоряння. На думку інженерів компанії, найкращий спосіб досягнення цієї мети - оптимізація процесів всередині двигунів для зменшення витрат пального.

Бензиновий двигун SKYACTIV-G - результат унікального інженерного підходу Mazda. Ретельно аналізуючи і переосмислюючи загальні принципи термодинаміки, інженерам компанії вдалось розробити двигун для серійного виробництва із ступенем стиснення 14:01. Для бензинового мотору це неймовірно високий показник (у суперкарів і болідів Формули-1 ступінь стиснення рідко перевищує 12:1). Тому аналогічні технології застосовувались

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

тільки у гоночних автомобілів, не призначених для повсякденного використання.

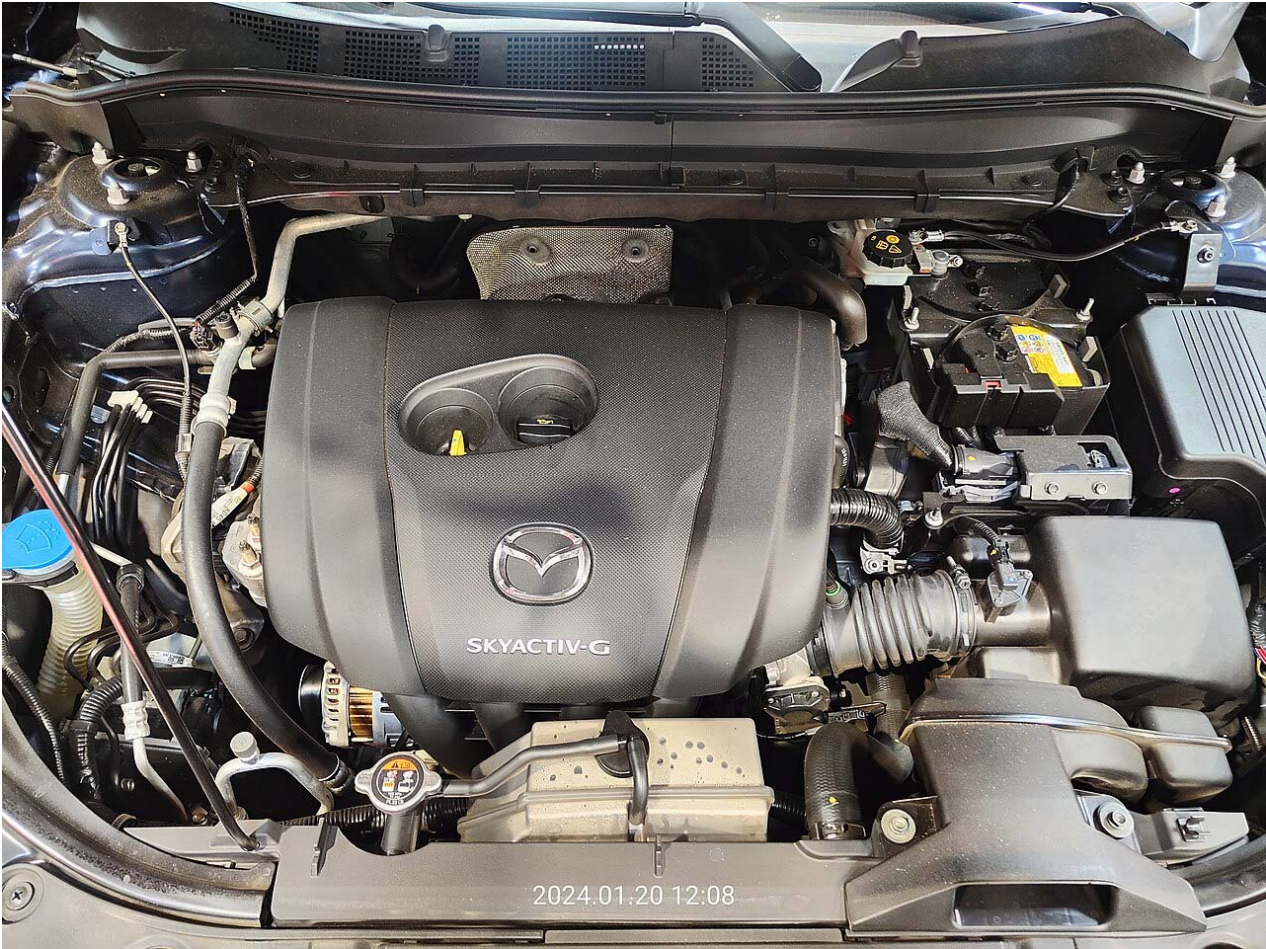


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд двигунів Skyactiv-G

У випадку з бензиновим двигуном високий ступінь стиснення дозволив з одного боку значно поліпшити ефективність – він став на 15% економічніший і, при цьому, з потужнішою тягою, а з іншого – допоміг вписатись в найжорстокіші норми «Євро-6».

Щоправда, для того, щоб змусити двигун з таким ступенем стиснення працювати на звичайному 95-му бензині і уникнути детонації, японським інженерам довелось проявити всю свою винахідливість. Були розроблені нові поршні з «дзеркалом» складної форми, яке поліпшує процес згоряння суміші, а в газорозподільному механізмі на впуску і випуску з'явилися фазообертачі з електроприводом, були змінені форсунки безпосереднього впорску, а

впускний колектор отримав «гоночну» схему 4-2-1, що допомагає уникнути небажаної циркуляції гарячих вихлопних газів між циліндрами.

Результат усіх цих інновацій – суттєве 15%-е збільшення крутного моменту та 15%-а економія палива.

Для підвищення ефективності роботи двигуна також необхідно було зменшити "насосні втрати", які відбуваються при низьких навантаженнях на двигун, коли під час такту впуску поршень всмоктує повітря при русі вниз. Кількість повітря усередині циліндра знаходиться під контролем дроселя, розташованого на вході у впускний колектор.

При низьких навантаженнях на двигун необхідна менша кількість повітря. Дросельна заслінка майже закрыта, в результаті чого тиск всередині впускного колектора і циліндра нижчий за атмосферний. В результаті поршень повинен подолати сильний вакуум. Це і є насосні втрати, які негативно позначаються на ефективності роботи двигуна.

Недолік тут - дестабілізація згоряння. Впускні клапани залишаються відкритими навіть тоді, коли починається такт стиснення, тиск усередині циліндру зменшується, що ускладнює займання повітряно-паливної суміші. У SKYACTIV-G з успіхом вирішили цю проблему завдяки ступеню стиснення 14:01. З високим ступенем стиснення збільшується тиск і температура в камері згоряння, тому процес згоряння залишається стабільним, навіть не дивлячись на зниження насосних втрат. Відповідно, двигун стає більш економічним.

Намагаючись посилити почуття злиття водія з автомобілем, розробники зменшили час його відгуку за рахунок зменшення розміру та ваги компонентів. Повний проект реконструкції двигуна надає нові можливості полегшення його деталей. Поршні стали легше на 20%, шатуни - на 15%, на 30% знизилось внутрішнє тертя деталей двигуна. Новий SKYACTIV-G швидше адаптується до зміни навантажень і витрачає менше енергії в процесі роботи.

					KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У Японії на конференції автомобільних дослідників і журналістів SKYACTIV-G вже визнаний технологією року.

Двигун Skyactiv-G 2.5 (рис. 1.2, табл. 1.1) – це 2,5-літровий атмосферний бензиновий мотор з безпосереднім упорскуванням палива потужністю 185–192 к. с. Агрегат PY-VPS був представлений у 2013 році разом із 1,5-літровою версією Skyactiv-G 1.5. Новий двигун робочим об’ємом 2,5 л прийшов на зміну мотору Mazda L5-VE під капотом таких популярних моделей, як Mazda 6 та Mazda CX-5.

Слід зазначити, що для ринків Північної Америки, Європи та Японії аналогічний двигун представлений під позначеннями PY-RPS і PY-VPR. Крім того, мотори Skyactiv-G 2.5 можуть розміщуватися в моторному відсіку як поперечно, так і поздовжньо, зокрема в люксових кросоверах Mazda CX-60 та Mazda CX-70.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд двигунів MAZDA SKYACTIV-G 2.5

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики двигуна Skyactiv-G 2.5

Параметр	Значення
Роки випуску	2013 – теперішній час
Місце виробництва	Японія
Маркування двигуна	PY-VPS
Тип двигуна	Рядний, 4-циліндровий
Вид палива	Бензин
Потужність	184...194 к. с.
Робочий об'єм двигуна	2488 см ³
Кількість клапанів	16
Привід клапанів	DOHC, ланцюговий
Матеріал блока циліндрів	Алюміній + чавунні гільзи
Матеріал головки блока циліндрів	Алюміній
Хід поршня	100,0 мм
Діаметр циліндра	89,0 мм
Система живлення	Безпосереднє упорскування палива (GDI)
Максимальна потужність	184–192 к. с. при 5700–6000 об/хв
Максимальний крутний момент	185–256 Н·м при 3000–4000 об/хв
Ступінь стиснення	14 : 1
Вимоги до палива	Бензин AI-95
Екологічні норми	Євро-4, Євро-5

Skyactiv-G 2.5 має практично таку саму конструкцію, як і 2,0-літрова версія PE-VPS. Алюмінієвий блок циліндрів з (рис. 1.3) відкритою рубашкою охолодження двигуна PY-VPS також складається з верхньої і нижньої частини, розділених по лінії осі колінчастого вала. Але, на відміну від Skyactiv 2.0, більш крупний 2,5-літровий ДВЗ додатково оснащений блоком балансирних валів [2].

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

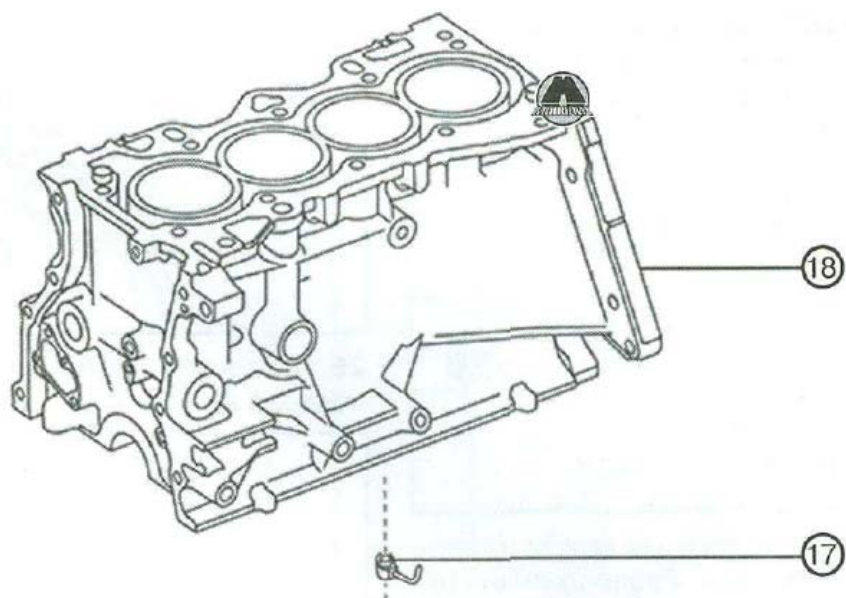


Рисунок 1.3 – Блок циліндрів

Усередині блока встановлені сталеві ковані шатуни (рис. 1.4), а поршні мають опуклу форму з круглим заглибленням посередині.

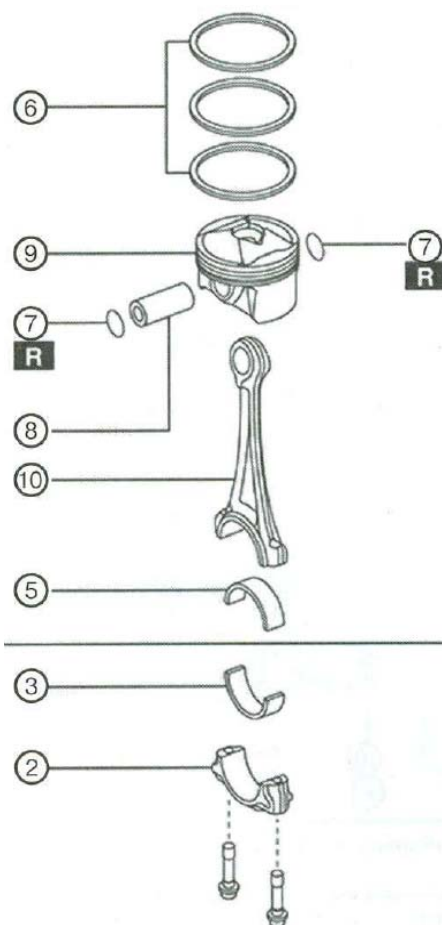


Рисунок 1.4 – Кривошипно-шатунний механізм

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

Масляний насос має ланцюговий привід і може працювати у двох режимах. Зверху блока встановлена 16-клапанна ГБЦ (рис. 1.5) з двома розподільними валами і гідрокомпенсаторами. Привід ГРМ здійснюється за допомогою ланцюга. І на впуску, і на випуску встановлені фазообертачі системи зміни фаз газорозподілу Dual S-VT, причому на впускному валу встановлена електрична муфта, а на випускному — гідравлічна.

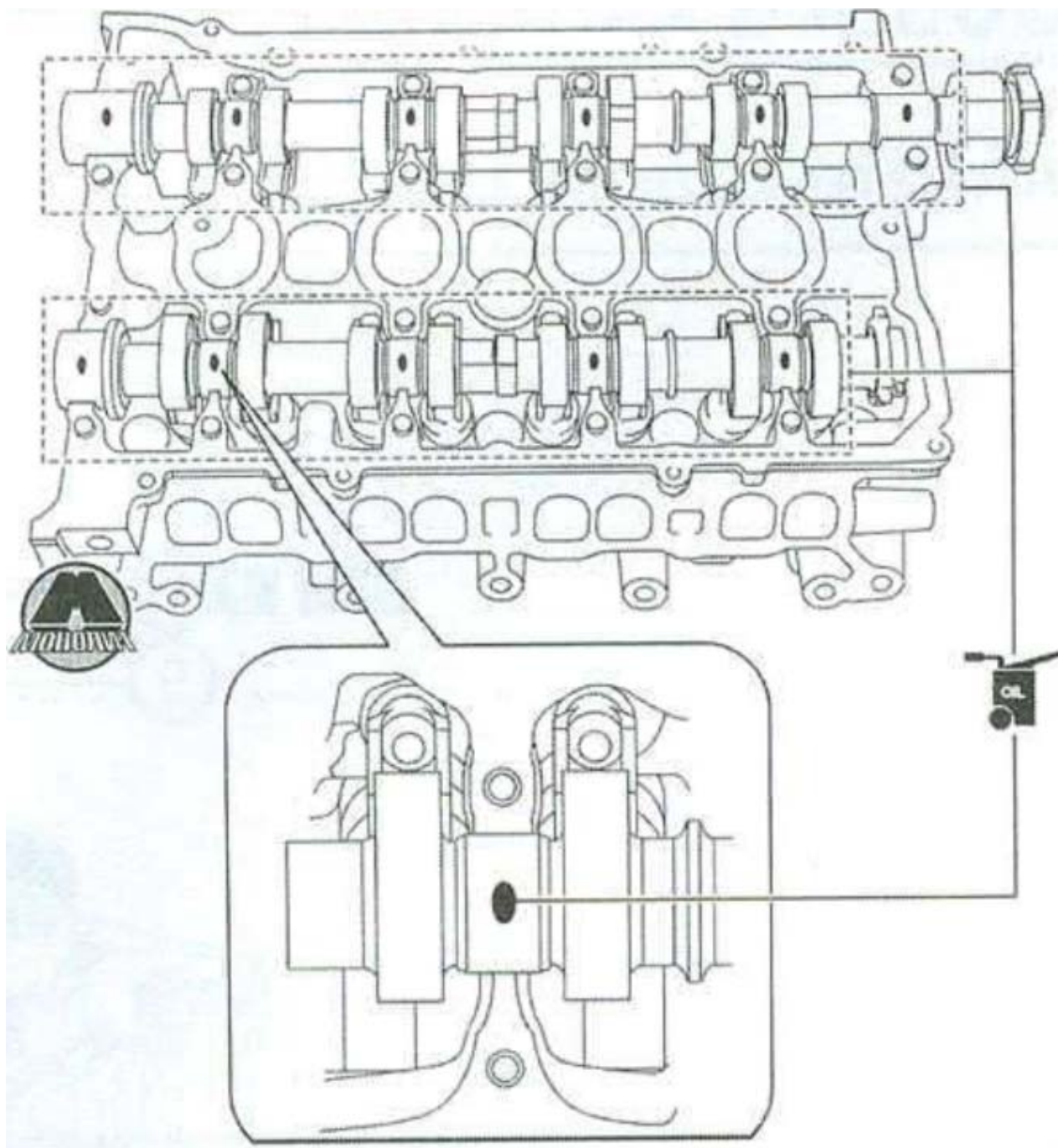


Рисунок 1.5 – Головка циліндрів

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ

Аркуш

11

Двигун Skyactiv-G 2.5 обладнаний системою прямого впорскування палива (рис. 1.6), що працює при максимальному тиску до 200 бар.

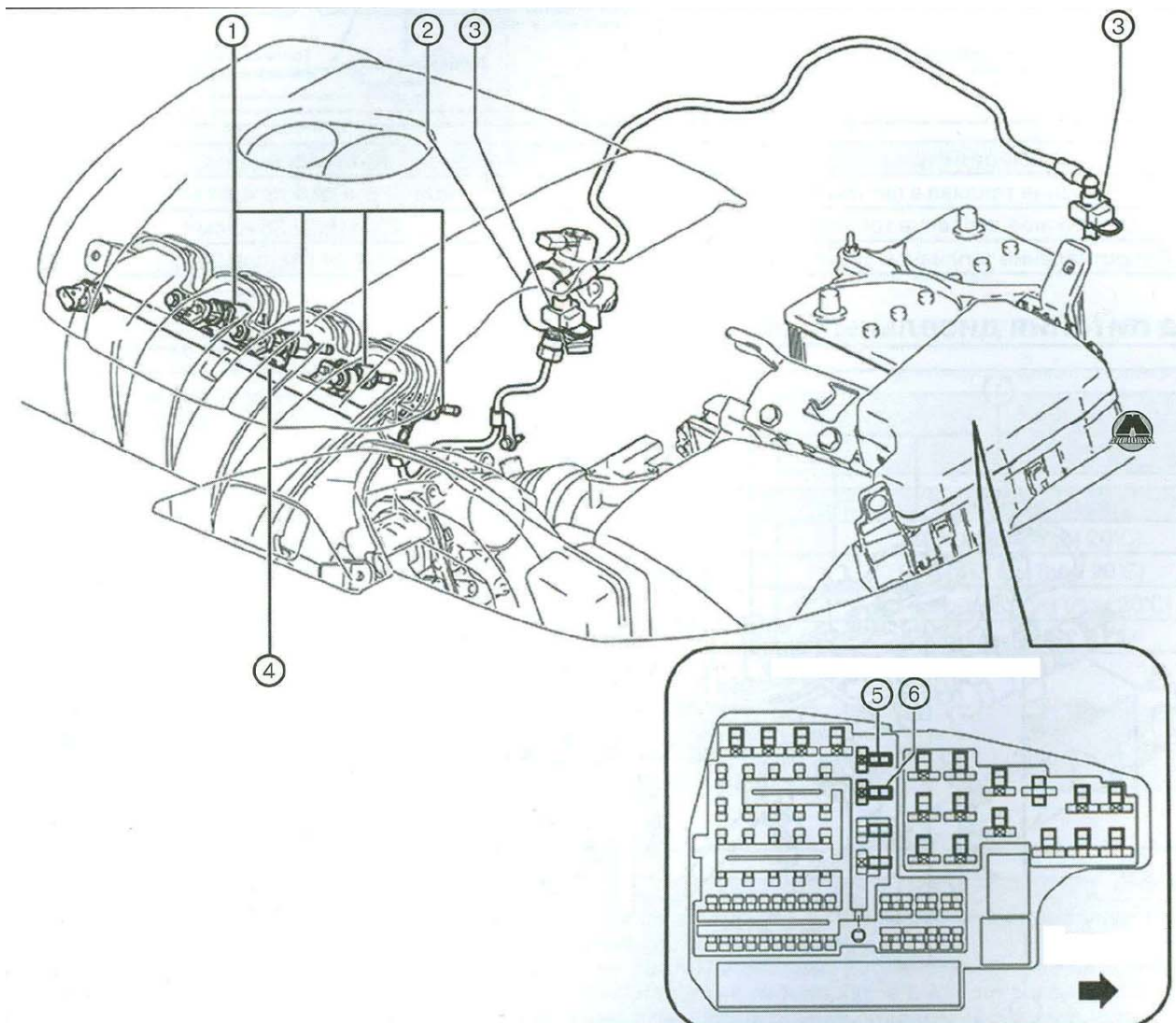


Рисунок 1.6 – Система прямого впорскування палива

Відповідно, для цієї мети присутній насос ПНВТ, привід якого здійснює випускний розподільний вал. У корпусі ПНВТ додатково реалізований вакуумний насос. Встановлений електронний термостат, удосконалена система управління випередженням запалювання. Випускний колектор виконаний за схемою 4-2-1, яку часто застосовують в автоспорті.

Система змащення (рис. 1.7) має такі особливості:

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

- [illegible]

Система охолодження (рис. 1.8) має такі особливості:

- | | | | | |
|-----|------|-------------|--------|------|
| | | | | |
| | | | | |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |

- Підвищення ефективності водяного насоса досягається за рахунок оптимальної форми крильчатки водяного насоса.

-

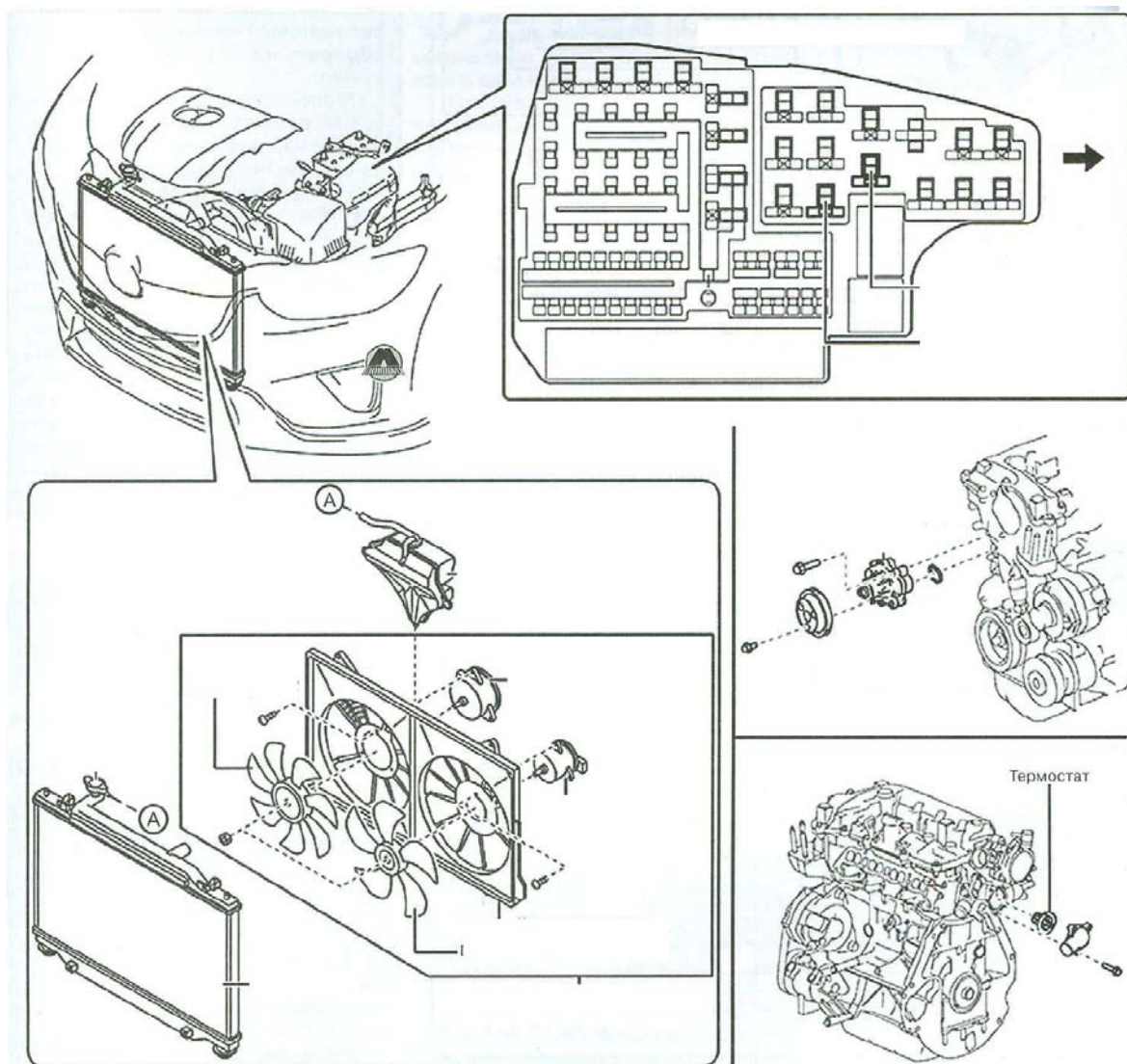


Рисунок 1.8 – Система охолодження

У системі заряджання (рис. 1.9) використовується генератор без регулятора напруги (з вбудованим силовим транзистором). Генератор має статор із двома дельта-з'єднаннями. Генератор приводиться в дію від двигуна через приводний ремінь, виробляючи електроенергію, необхідну для живлення всіх бортових споживачів автомобіля.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ

Аркуш

14

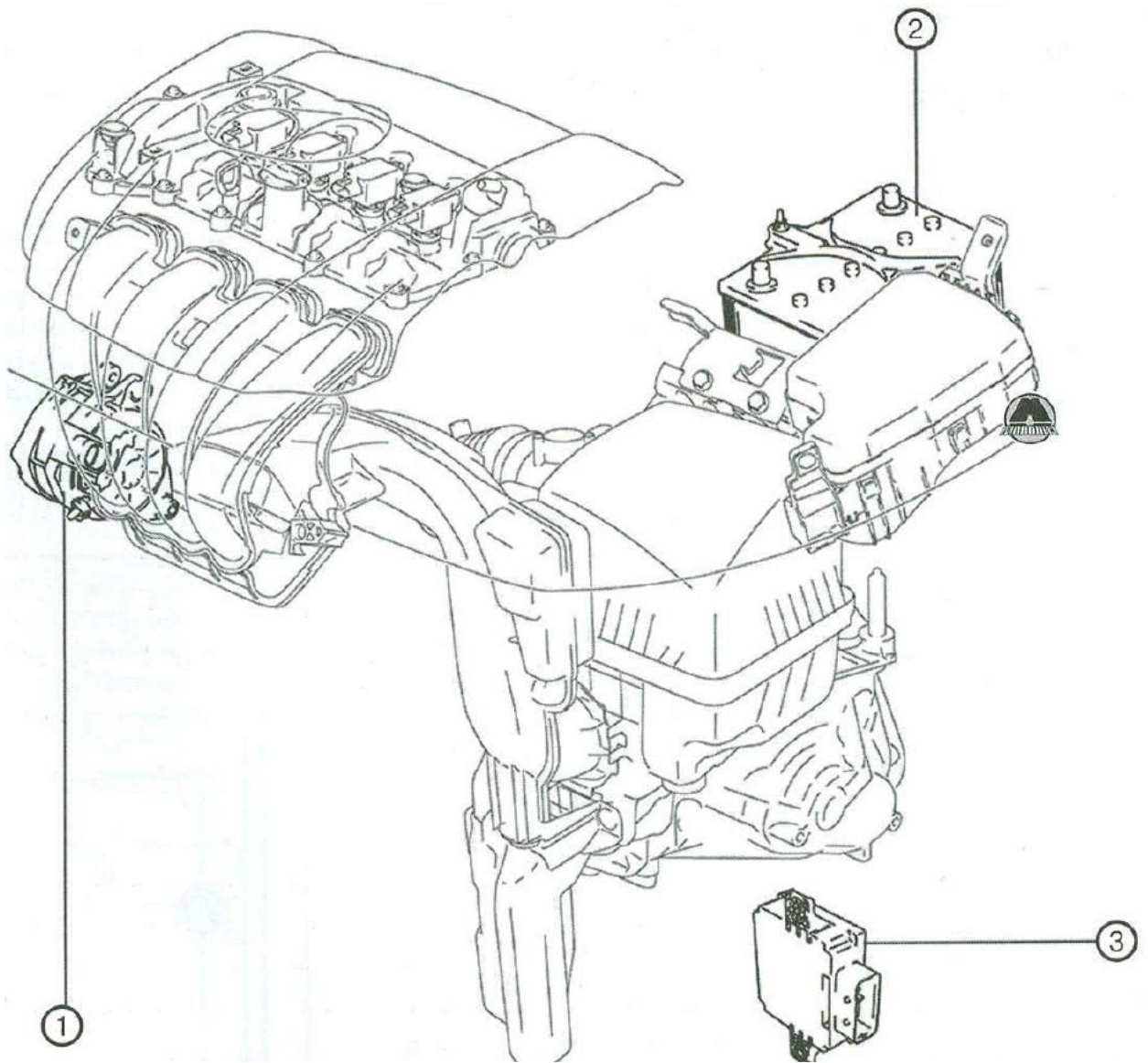


Рисунок 1.9 – Система заряджання

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ

Аркуш

15

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ В АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНАХ

Стрімкий розвиток автомобільного транспорту впродовж останніх десятиліть супроводжується суттєвим зростанням споживання традиційних нафтових палив, що призводить до загострення комплексу екологічних, економічних та енергетичних проблем. Автомобільні двигуни внутрішнього згоряння залишаються одним із основних джерел викидів шкідливих речовин у атмосферу, зокрема оксидів азоту, оксиду вуглецю, незгорілих вуглеводнів, твердих частинок і діоксиду вуглецю. Погіршення якості атмосферного повітря в містах, зростання парникового ефекту та залежність економік від імпорту енергоресурсів зумовлюють необхідність пошуку альтернатив традиційним видам палива [3].

Використання альтернативних палив в автомобільних двигунах розглядається як один із найбільш перспективних шляхів зниження негативного впливу транспорту на довкілля та підвищення енергетичної безпеки. Альтернативні палива відрізняються походженням, агрегатним станом, фізико-хімічними властивостями та технологічними вимогами до їх використання. Вони можуть застосовуватися як повна заміна традиційного бензину або дизельного палива, так і у вигляді сумішей або добавок, що дозволяє поетапно інтегрувати їх у наявні транспортні системи.

До найбільш поширених альтернативних палив для автомобільних двигунів належать газоподібні палива, біопалива, синтетичні палива, водень, а також комбіновані паливні системи та емульсії. Кожен із цих напрямів має власні техніко-економічні та екологічні переваги, а також певні обмеження, що потребує детального аналізу можливостей їх практичного застосування.

Газоподібні палива посідають провідне місце серед альтернативних енергоносіїв для автомобільних двигунів внутрішнього згоряння завдяки сприятливим екологічним характеристикам, достатній ресурсній базі та можливості використання в існуючих конструкціях двигунів із порівняно незначними змінами. Їх застосування розглядається як ефективний шлях зниження викидів шкідливих речовин і часткової заміни традиційних нафтових палив у транспортному секторі.

До основних газоподібних палив, що використовуються в автомобільних двигунах, належать стиснений природний газ, зріджений природний газ, зріджений нафтовий газ, а також водень і газові суміші на його основі. Кожен із зазначених видів палива має специфічні фізико-хімічні властивості, які визначають особливості їх зберігання, подачі, сумішоутворення та згоряння в циліндрах двигуна.

Стиснений природний газ є одним із найбільш поширених газоподібних палив для автомобільних двигунів з іскровим запалюванням. Основним компонентом природного газу є метан, який характеризується високим октановим числом, що значно перевищує аналогічний показник бензину. Це дозволяє експлуатувати двигун за підвищеного ступеня стиску без ризику виникнення детонації, що позитивно впливає на термічний коефіцієнт корисної дії та економічність. Завдяки однорідному сумішоутворенню метано-повітряної суміші процес згоряння відбувається більш стабільно, зменшується утворення нагару та відкладень у камері згоряння.

Екологічні переваги використання стисненого природного газу полягають у значному зниженні викидів оксиду вуглецю, незгорілих вуглеводнів і твердих частинок порівняно з бензиновими та дизельними двигунами. Крім того, зменшується рівень шуму роботи двигуна та знижується токсичність відпрацьованих газів. Водночас необхідність зберігання газу під високим тиском потребує використання масивних балонів,

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

що збільшує масу автомобіля та зменшує корисний об'єм багажного відділення.

Зріджений нафтовий газ є сумішшю пропану та бутану і широко застосовується в автомобільних двигунах завдяки відносно простій технології зберігання та розвиненій інфраструктурі заправлення. Газоподібне паливо цього типу має високе октанове число, що забезпечує стабільну роботу двигуна та зменшення детонаційних явищ. Використання зрідженого нафтового газу дозволяє знизити викиди токсичних компонентів відпрацьованих газів і подовжити ресурс двигуна за рахунок зменшення нагароутворення.

Разом із тим зріджений нафтовий газ має нижчу теплоту згоряння порівняно з бензином, що призводить до певного зменшення ефективної потужності двигуна. Крім того, склад пропан-бутанової суміші може змінюватися залежно від сезону та постачальника, що ускладнює точне керування процесом згоряння та вимагає адаптивних систем керування.

Зріджений природний газ є перспективним напрямом розвитку газомоторного транспорту, особливо для автомобілів великої вантажопідйомності та міжміських перевезень. Зрідження природного газу дозволяє значно підвищити його об'ємну енергетичну щільність, що забезпечує більший запас ходу автомобіля порівняно зі стисненим газом. Водночас використання зрідженого природного газу потребує складних кріогенних систем зберігання, що підвищує вартість і складність експлуатації.

Загалом газоподібні палива мають значний потенціал як альтернативне паливо для автомобільних двигунів внутрішнього згоряння. Їх використання дозволяє зменшити негативний вплив транспорту на довкілля, підвищити енергетичну ефективність і знизити залежність від традиційних нафтових ресурсів. Водночас ефективне впровадження газоподібних палив потребує комплексного підходу, що включає удосконалення конструкції двигунів,

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

розвиток систем упорскування та керування, створення відповідної інфраструктури й урахування економічних та експлуатаційних чинників.

Зростання обсягів автомобільних перевезень і пов'язане з цим підвищення споживання традиційних нафтових палив зумовлюють необхідність пошуку альтернативних джерел енергії, здатних зменшити негативний вплив транспорту на довкілля та забезпечити підвищення енергетичної незалежності. У цьому контексті *біопалива* займають важливе місце серед альтернативних палив для автомобільних двигунів внутрішнього згоряння завдяки відновлюваному походженню сировини та потенційно нижчому рівню шкідливих викидів.

Біопалива являють собою рідкі або газоподібні палива, отримані з біомаси рослинного або тваринного походження. До основних видів біопалив, що застосовуються в автомобільних двигунах, належать біоетанол, біодизель, біогаз, а також різноманітні їх суміші з традиційними нафтовими паливами. Використання біопалив дозволяє частково замінити бензин і дизельне паливо без повної відмови від існуючих конструкцій двигунів та паливних систем.

Біоетанол є найбільш поширеним біопаливом для бензинових автомобільних двигунів. Його отримують шляхом ферментації цукровмісної або крохмалевмісної сировини, зокрема зернових культур, цукрової тростини або буряків. Біоетанол характеризується високим октановим числом, що забезпечує добрі антидетонаційні властивості паливної суміші та сприяє стабільному процесу згоряння. Завдяки наявності кисню в молекулярній структурі біоетанолу зменшується вміст оксиду вуглецю та незгорілих вуглеводнів у відпрацьованих газах.

Разом із тим біоетанол має нижчу теплоту згоряння порівняно з бензином, що призводить до зростання питомої витрати палива при його використанні. Крім того, біоетанол є гігроскопічним і може спричиняти корозійні процеси в елементах паливної системи, що вимагає застосування спеціальних матеріалів і ущільнень. Для роботи на сумішах з високим вмістом

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

етанолу необхідна адаптація системи упорскування, керування запалюванням і складу паливоповітряної суміші.

Біодизельне паливо є альтернативою традиційному дизельному паливу та отримується шляхом переестерифікації рослинних олій або тваринних жирів. Біодизель може використовуватися як у чистому вигляді, так і у вигляді сумішей різної концентрації з дизельним паливом. Його основними перевагами є відновлюваність сировинної бази, низький вміст сірки, а також зменшення викидів твердих частинок, чадного газу та вуглеводнів. Крім того, біодизель має покращені мастильні властивості, що позитивно впливає на ресурс паливної апаратури дизельних двигунів.

Водночас застосування біодизельного палива супроводжується низкою обмежень. Підвищена в'язкість і схильність до окиснення можуть ускладнювати процес упорскування та призводити до утворення відкладень у паливній системі. Погіршені низькотемпературні властивості біодизелю обмежують його використання в умовах холодного клімату без застосування спеціальних присадок або систем підігріву палива.

Біогаз, отриманий у процесі анаеробного зброджування органічних відходів, також може використовуватися як альтернативне паливо для автомобільних двигунів після відповідного очищення та доведення до стандартів газомоторного палива. Основним компонентом біогазу є метан, що зумовлює його подібність до природного газу за характеристиками згоряння. Використання біогазу дозволяє ефективно утилізувати органічні відходи та зменшити викиди парникових газів.

Екологічні переваги біопалив полягають у можливості скорочення сумарних викидів діоксиду вуглецю за рахунок біологічного циклу вуглецю, а також у зниженні токсичності відпрацьованих газів. Проте повна екологічна ефективність біопалив залежить від способів їх виробництва, транспортування та використання, що потребує комплексної оцінки життєвого циклу.

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Аналіз використання біопалив в автомобільних двигунах свідчить, що вони є важливим елементом переходу до більш екологічно сталого транспорту. Найбільш доцільним є застосування біопалив у вигляді сумішей з традиційними нафтовими паливами, що дозволяє зменшити екологічне навантаження без значного ускладнення конструкції двигунів і систем керування. Подальший розвиток технологій виробництва біопалив і вдосконалення автомобільних двигунів створюють передумови для розширення їх використання в транспортному секторі.

Посилення екологічних вимог до автомобільного транспорту та необхідність зниження залежності від традиційних нафтових ресурсів зумовлюють активний пошук і впровадження альтернативних видів палива. Одним із перспективних напрямів у цьому контексті є використання **синтетичних палив**, які можуть застосовуватися в автомобільних двигунах внутрішнього згоряння як повна або часткова заміна бензину та дизельного палива. Синтетичні палива характеризуються стабільними фізико-хімічними властивостями, високою якістю та потенційно нижчим рівнем шкідливих викидів.

Синтетичні палива являють собою рідкі або газоподібні вуглеводневі енергоносії, отримані шляхом хімічного синтезу з різних видів сировини, зокрема природного газу, вугілля, біомаси або водню з діоксидом вуглецю. Найбільш відомими технологіями виробництва синтетичних палив є процеси типу Gas-to-Liquid, Coal-to-Liquid та Biomass-to-Liquid, а також технології синтезу так званих e-fuels на основі відновлюваної електроенергії.

Синтетичні рідкі палива, отримані за технологіями GTL і BTL, за своїми експлуатаційними властивостями близькі до традиційного дизельного палива або бензину, однак мають більш однорідний склад і практично не містять сірки та ароматичних сполук. Це забезпечує покращені умови згоряння, зменшення утворення сажі та твердих частинок, а також зниження викидів оксидів азоту і вуглеводнів. Завдяки високій якості такі палива можуть

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

використовуватися в існуючих автомобільних двигунах без суттєвих конструктивних змін.

Особливу увагу привертають синтетичні дизельні палива, які характеризуються високим цетановим числом. Це сприяє скороченню затримки займання, покращенню стабільності процесу згоряння та зменшенню рівня шуму і вібрацій дизельних двигунів. Крім того, відсутність сірки та низький вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів зменшують корозійний вплив на елементи паливної апаратури та каталізатори систем очищення відпрацьованих газів.

Синтетичні бензинові палива можуть бути оптимізовані за октановим числом і швидкістю згоряння, що дозволяє адаптувати їх до сучасних високофорсованих двигунів з безпосереднім упорскуванням і турбонаддувом. Стабільність складу таких палив полегшує точне керування процесом сумішоутворення та запалювання, що позитивно впливає на паливну економічність і екологічні показники.

Окремий напрям розвитку синтетичних палив пов'язаний із виробництвом так званих електропалив або e-fuels. Вони синтезуються шляхом поєднання водню, отриманого електролізом води з використанням відновлюваних джерел енергії, та діоксиду вуглецю, вилученого з повітря або промислових викидів. Теоретично такі палива можуть бути майже вуглецево нейтральними, оскільки під час їх згоряння вивільняється той самий обсяг CO₂, який був використаний у процесі синтезу.

Екологічні переваги синтетичних палив полягають у зниженні викидів шкідливих речовин та можливості інтеграції в існуючу транспортну інфраструктуру. На відміну від деяких інших альтернативних палив, синтетичні рідкі палива можуть використовуватися в традиційних системах зберігання, транспортування та заправлення, що значно спрощує їх впровадження. Водночас повна екологічна ефективність синтетичних палив

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

значною мірою залежить від джерел енергії та сировини, використаних у процесі їх виробництва.

До основних недоліків синтетичних палив належить висока енергоємність і вартість виробництва, що обмежує їх конкурентоспроможність порівняно з традиційними нафтовими паливами. Крім того, масштабування технологій синтезу потребує значних капіталовкладень та розвитку відповідної виробничої інфраструктури. Незважаючи на це, у довгостроковій перспективі синтетичні палива розглядаються як важливий елемент енергетичного переходу, особливо для тих сегментів автомобільного транспорту, де повна електрифікація є технічно або економічно ускладненою.

Аналіз використання синтетичних палив в автомобільних двигунах свідчить, що вони мають значний потенціал як альтернативне паливо, здатне забезпечити зниження шкідливих викидів і підвищення стабільності паливного забезпечення. Найбільш доцільним на сучасному етапі є їх застосування у вигляді сумішей або як спеціалізоване паливо для високоефективних двигунів, тоді як подальший розвиток технологій виробництва та зниження вартості можуть створити передумови для їх ширшого використання в автомобільному транспорті.

Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту спрямовані на суттєве зниження негативного впливу на довкілля та скорочення викидів парникових газів. У цьому контексті *водень* розглядається як один із найбільш перспективних альтернативних енергоносіїв завдяки відсутності вуглецю у його хімічному складі та можливості забезпечення практично нульових викидів діоксиду вуглецю під час використання в автомобільних двигунах. Застосування водню як палива відкриває нові можливості для підвищення екологічної безпеки транспорту та диверсифікації енергетичних ресурсів.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Водень є найлегшим елементом періодичної системи та характеризується високою питомою теплотою згоряння в перерахунку на одиницю маси. Це забезпечує значний енергетичний потенціал водневого палива. Під час згоряння водню в кисневому середовищі основним продуктом реакції є водяна пара, що зумовлює відсутність викидів оксиду та діоксиду вуглецю. Разом із тим висока швидкість поширення полум'я та широкий діапазон займистих концентрацій істотно впливають на характер робочого процесу в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння [4].

Використання водню в автомобільних двигунах можливе за кількома технологічними напрямками. Найбільш простим із конструктивної точки зору є застосування водню в традиційних двигунах внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням після відповідної адаптації системи подачі палива та керування. Водень може подаватися у впускний тракт або безпосередньо в циліндр, що дозволяє регулювати процес сумішоутворення та уникати зворотних спалахів у впускній системі.

Однією з головних переваг водню як палива є можливість роботи двигуна на надзвичайно збіднених паливоповітряних сумішах. Це дозволяє знизити температуру згоряння, підвищити ефективний коефіцієнт корисної дії та зменшити теплові втрати. Висока швидкість згоряння водню забезпечує стабільний робочий процес навіть за малих концентрацій палива, що є важливою перевагою для часткових навантажень.

Разом із тим використання водню в автомобільних двигунах супроводжується низкою суттєвих технічних проблем. Однією з основних є низька об'ємна енергетична щільність водню, що ускладнює його зберігання на борту транспортного засобу. Для забезпечення прийняттого запасу ходу необхідно використовувати балони високого тиску, кріогенні резервуари або системи хімічного зв'язування водню, що збільшує масу, складність і вартість автомобіля.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ще однією проблемою є схильність водню до зворотного займання та детонаційних явищ у впускному тракті, що вимагає ретельного проєктування систем подачі палива та застосування безпосереднього впорскування. Крім того, висока температура згоряння водню сприяє інтенсивному утворенню оксидів азоту, що нівелює частину екологічних переваг і потребує використання спеціальних методів керування процесом згоряння, таких як рециркуляція відпрацьованих газів або робота на надмірно збіднених сумішах.

Значну роль у впровадженні водню як альтернативного палива відіграє питання його виробництва. Екологічна доцільність використання водню значною мірою залежить від способу його отримання. Водень, вироблений шляхом електролізу води з використанням відновлюваних джерел енергії, може вважатися практично вуглецево нейтральним. Водночас водень, отриманий із викопного палива без уловлювання діоксиду вуглецю, не забезпечує істотного зниження сумарних викидів.

Економічні аспекти також суттєво впливають на перспективи використання водню в автомобільних двигунах. Висока вартість виробництва, зберігання та транспортування водню, а також відсутність розвиненої інфраструктури заправлення стримують його широке впровадження. Проте розвиток технологій, зниження вартості відновлюваної електроенергії та державна підтримка можуть створити передумови для поступового розширення водневої енергетики.

Аналіз використання водню як альтернативного палива в автомобільних двигунах показує, що він має значний потенціал з точки зору екологічної безпеки та енергетичної ефективності. Водночас практична реалізація водневих технологій потребує комплексного підходу, який включає вдосконалення конструкції двигунів, розвиток систем зберігання та подачі палива, а також створення відповідної виробничої та заправної інфраструктури. У перспективі водень може стати важливим елементом енергетичного переходу в транспортному секторі, особливо в поєднанні з

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

іншими альтернативними видами палива та гібридними силовими установками.

Сучасний розвиток автомобільних двигунів внутрішнього згоряння супроводжується пошуком технічних рішень, здатних забезпечити одночасне підвищення паливної економічності, зниження шкідливих викидів і збереження високих експлуатаційних показників. У цьому контексті **комбіновані та змішані паливні системи** розглядаються як перспективний напрям використання альтернативних палив, що дозволяє поєднати переваги різних видів енергоносіїв і мінімізувати їх недоліки без радикальної зміни конструкції двигуна.

Комбіновані паливні системи передбачають використання двох або більше різних видів палива в одному двигуні, причому кожне з них може подаватися окремо або одночасно залежно від режиму роботи. До таких систем належать, зокрема, бензино-газові, дизель-газові та воднево-бензинові схеми. Змішані паливні системи, у свою чергу, базуються на використанні паливних сумішей або композицій, таких як бензино-етанольні суміші, дизель-біодизельні суміші або водопаливні емульсії.

Одним із найбільш поширених прикладів комбінованих систем є бензино-газові двигуни, які можуть працювати як на бензині, так і на газоподібному паливі. Такий підхід забезпечує гнучкість у виборі палива, зменшує витрати на експлуатацію та дозволяє знижувати токсичність відпрацьованих газів. Перехід між видами палива може здійснюватися автоматично або вручну залежно від навантаження, температури двигуна та інших експлуатаційних факторів.

Дизель-газові системи передбачають подачу газоподібного палива разом із дизельним паливом, яке використовується як ініціатор займання. Газова складова заміщує частину дизельного палива, що дозволяє зменшити витрати нафтового палива та знизити викиди сажі й оксиду вуглецю. Такі системи

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

особливо ефективні для двигунів великої потужності, однак потребують складних систем керування для забезпечення стабільного процесу згоряння.

Змішані паливні системи на основі рідких палив широко застосовуються завдяки можливості використання існуючої інфраструктури та мінімальній необхідності конструктивних змін. Бензино-етанольні суміші дозволяють підвищити октанове число палива та зменшити викиди токсичних компонентів, тоді як дизель-біодизельні суміші забезпечують покращені мастильні властивості та зниження вмісту сірки у відпрацьованих газах.

Особливий інтерес становлять водопаливні емульсії, які є прикладом змішаних паливних систем із внутрішньою модифікацією процесу згоряння. Додавання води до палива сприяє зниженню температури згоряння та інтенсивності утворення оксидів азоту, а також покращує процес розпилення палива. Використання таких емульсій дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин без суттєвого погіршення паливної економічності.

Комбіновані та змішані паливні системи мають значні екологічні переваги, оскільки дозволяють знижувати викиди діоксиду вуглецю, оксидів азоту та твердих частинок. Водночас ефективність таких систем значною мірою залежить від правильного вибору співвідношення компонентів палива, режимів роботи двигуна та рівня автоматизації системи керування. Недостатньо оптимізовані системи можуть призводити до нестабільності згоряння та підвищеного зносу елементів паливної апаратури.

Загалом комбіновані та змішані паливні системи розглядаються як проміжний, але надзвичайно важливий етап переходу до більш екологічно чистих технологій у автомобільному транспорті. Вони забезпечують можливість поступового зменшення споживання традиційних нафтових палив, зниження негативного впливу на довкілля та адаптацію існуючого парку автомобілів до нових енергетичних умов. Подальший розвиток цих систем пов'язаний із удосконаленням електронних систем керування,

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

сенсорних технологій та матеріалів, що створює передумови для їх широкого застосування в автомобільних двигунах внутрішнього згорання.

Проведений аналіз використання альтернативних палив в автомобільних двигунах внутрішнього згорання свідчить, що перехід від традиційних нафтових палив до нових енергоносіїв є об'єктивною необхідністю, зумовленою як екологічними, так і енергетичними та економічними чинниками. Зростання обсягів автомобільних перевезень, посилення міжнародних екологічних норм та обмеженість викопних ресурсів зумовлюють пошук таких палив, які забезпечують зниження шкідливих викидів без суттєвого погіршення експлуатаційних характеристик транспортних засобів.

Газоподібні палива, біопалива, синтетичні палива, водень, а також комбіновані й змішані паливні системи мають значний потенціал як альтернативні джерела енергії для автомобільних двигунів. Їх застосування дозволяє зменшити викиди оксидів азоту, оксиду вуглецю, твердих частинок і частково діоксиду вуглецю, а також підвищити паливну диверсифікацію та енергетичну безпеку. Водночас кожен із розглянутих видів альтернативних палив має власні технічні, економічні та інфраструктурні обмеження, що унеможлиблює їх універсальне застосування в короткостроковій перспективі.

Біопалива та синтетичні палива є важливим проміжним етапом енергетичного переходу, оскільки вони можуть використовуватися в існуючих двигунах із мінімальними конструктивними змінами та не потребують радикального оновлення паливної інфраструктури.

Комбіновані та змішані паливні системи, у свою чергу, забезпечують гнучкість використання різних видів палива та дозволяють поступово зменшувати споживання традиційних нафтових ресурсів. Проте ці рішення не усувають повністю проблему вуглецевих викидів і залишають залежність від викопної або біологічної сировини [5].

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Найбільш перспективним альтернативним паливом у довгостроковій перспективі є водень. Його принципова перевага полягає у відсутності вуглецю в хімічному складі, що забезпечує нульові вуглецеві викиди під час використання в автомобільних двигунах.

За умови виробництва водню з використанням відновлюваних джерел енергії він може розглядатися як практично кліматично нейтральний енергоносіє. Висока питома теплота згоряння водню створює передумови для досягнення високих показників енергетичної ефективності, а можливість роботи двигуна на надзвичайно збіднених сумішах відкриває нові шляхи оптимізації робочого процесу.

Незважаючи на наявні технічні труднощі, пов'язані зі зберіганням, транспортуванням і безпекою водню, а також із утворенням оксидів азоту при високих температурах згоряння, ці проблеми мають інженерний характер і можуть бути вирішені шляхом удосконалення систем упорскування, керування згорянням, матеріалів і конструкцій двигунів. Розвиток технологій електролізу, зниження вартості відновлюваної електроенергії та активна державна підтримка водневої енергетики створюють передумови для поступового впровадження водню в автомобільному транспорті.

Таким чином, альтернативні палива відіграють ключову роль у трансформації автомобільного транспорту, забезпечуючи зменшення екологічного навантаження та підвищення енергетичної стійкості. У коротко- та середньостроковій перспективі найбільш доцільним є комбіноване використання традиційних і альтернативних палив, а також застосування змішаних паливних систем. У довгостроковій перспективі саме водень слід розглядати як найбільш перспективне альтернативне паливо для автомобільних двигунів, здатне забезпечити принципово новий рівень екологічної безпеки та сталого розвитку транспортної галузі.

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

В кваліфікаційній роботі буде розглядатись можливість використання водню та біоетанолу в якості палива.

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В ДВИГУНІ 4Ч 8,9/10 (MAZDA SKYACTIV-G 2.5)

Використання викопних видів палива для роботи двигунів, що застосовуються в автомобілях, інших транспортних засобах, а також у силових установках різного призначення, ґрунтується на класичній концепції двигунів внутрішнього згоряння, сформованій ще у ХІХ столітті. Незважаючи на інтенсивні наукові дослідження та інженерні розробки в галузі альтернативних видів палива, які проводилися протягом останніх десятиліть, нафта та природний газ і сьогодні залишаються основним енергетичним ресурсом для переважної більшості двигунів внутрішнього згоряння у світі.

Такий стан справ призвів до суттєвого скорочення світових запасів викопного палива, що супроводжується його дефіцитом і стабільним зростанням вартості нафти протягом останніх десятиліть. Окрім цього, продукти згоряння традиційних палив мають значний негативний вплив на довкілля. Викиди шкідливих речовин і парникових газів розглядаються як один із ключових чинників глобальних кліматичних змін або, щонайменше, як істотний внесок у процес глобального потепління.

Сукупність економічних та екологічних факторів зумовила активізацію пошуку й розвитку відновлюваних та альтернативних джерел енергії, здатних зменшити залежність від викопних палив. Протягом останніх років було запропоновано низку альтернативних рішень, зокрема гібридні силові установки, електричні транспортні засоби, біопалива, а також системи на основі використання водню. Проте жодне з цих рішень на сьогодні не стало універсальним і масово впровадженим.

Однією з основних причин обмеженого поширення альтернативних енергетичних технологій є необхідність створення принципово нової виробничої та паливно-розподільчої інфраструктури. Крім того, значна

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

частина запропонованих систем є несумісною з існуючими двигунами внутрішнього згоряння, що зумовлює потребу в повній заміні наявного парку силових установок. Такі капітальні витрати роблять широке впровадження альтернативних палив економічно недоцільним, принаймні у коротко- та середньостроковій перспективі.

Ідея використання води як джерела енергії для двигунів внутрішнього згоряння розглядалася ще раніше, і протягом тривалого часу проводилися експериментальні дослідження відповідних систем. Теоретично такі підходи базуються на можливості розкладання води на водень і кисень з подальшим подаванням отриманої стехіометричної газової суміші до циліндрів двигуна для отримання корисної потужності. Однак результати більшості ранніх експериментів виявилися незадовільними.

Основним обмежувальним фактором ефективності подібних систем є надмірно висока енергоємність процесу розкладання води, яка перевищує кількість енергії, що може бути отримана під час подальшого згоряння воднево-кисневої суміші. Додатково, об'єм газової суміші, необхідний для стабільної роботи автомобільного двигуна, є настільки значним, що практична реалізація таких систем у транспортних засобах стає вкрай ускладненою.

На сучасному ринку присутні технічні рішення, які позиціонуються як допоміжні або додаткові системи для двигунів внутрішнього згоряння, що працюють на викопному паливі. Проте результати незалежних випробувань свідчать про те, що вплив таких систем на загальну паливну економічність і ефективність двигуна є мінімальним або статистично незначущим.

Разом із тим, у науково-технічних дослідженнях останніх років розглядаються підходи, що передбачають генерацію з води невеликих кількостей газової суміші водню та кисню з подальшим її подаванням у стандартний двигун внутрішнього згоряння як домішки до основного палива. Така газова суміш, відома в літературі як ННО або «коричневий газ», може сприяти інтенсифікації процесу згоряння традиційного палива, підвищенню

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

повноти його використання та, відповідно, зростанню ефективності робочого процесу двигуна.

Незважаючи на те, що подібний підхід є більш перспективним порівняно з попередніми рішеннями, його ефективність залишається обмеженою кількістю водню та кисню, яку можливо згенерувати та зберігати безпосередньо на транспортному засобі. Крім того, у межах такого підходу двигун внутрішнього згорання все ще функціонує на основі спалювання викопного палива, що не дозволяє повністю усунути екологічні та ресурсні проблеми, пов'язані з його використанням [6].

Пропонується на початковому етапі робочого циклу до камери згорання подавати **водень**. Після цього, на стадії стиснення, у камеру впорскується рідке паливо, в нашому випадку **етанол**. Співвідношення водень/етанол складає 1:9.

Тепловий розрахунок двигуна 4Ч 8,9/10 на бензині

Параметр	Значення
<i>Вихідні дані</i>	
Діаметр циліндра, м	0,089
Хід поршня, м	0,1
Частота обертання, хв ⁻¹	6000
Тактність	0,5
Число циліндрів	4
Тиск наддуву, МПа	0,103
Тиск навколишнього середовища, МПа	0,103
Температура навколишнього середовища, К	297
Показник політропи стиснення в компресорі	1,8
Коефіцієнт надлишку повітря для згорання	0,9
Коефіцієнт продувки	1,05
Коефіцієнт залишкових газів	0,05

Коефіцієнт використання тепла в точці z	0,9
Коефіцієнт використання тепла в точці b	0,92
Ступінь стиснення	14
Ступінь підвищення тиску при згорянні	1,2
Підігрів заряду від стінок циліндра	10
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	0,98
Коефіцієнт втрати тиску у впускному колекторі	0,98
Механічний ККД двигуна	0,84
Втрата тиску в повітроохолоджувачі	0,003
Температура залишкових газів, К	800
Рідке нафтове паливо, %	1
Газоподібне паливо 0	0
Альтернативне паливо 0	0
Вуглець C, %	0,855
Водень H ₂ , %	0,145
Сірка S, %	0
Кисень O ₂ , %	0
Відсотковий вміст води W, %	0
<i>Розрахунок процесу наповнення</i>	
Температура повітря за компресором, К	297,0
Температура заряду перед двигуном, К	297,0
Температура заряду до кінця процесу наповнення, К	330,5
Тиск повітря перед двигуном, МПа	0,100
Тиск заряду до кінця процесу наповнення, МПа	0,098
Коефіцієнт наповнення	0,9033
<i>Розрахунок процесу стиснення</i>	
<u>A_{yc}</u>	19,3240
<u>B_c</u>	0,00256

Теплоємність газоповітряної суміші та залишкових газів
на ході стиснення визначається за формулою [7]:

$$C_{yc} = 19,3240 + 0,00256 \cdot T$$

Середній показник політропи стиснення	1,3705
Тиск наприкінці стиснення, МПа	3,6475
Температура наприкінці стиснення, К	878,6
<i>Розрахунок процесу згоряння</i>	
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	1,0787
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	1,0749
Частка палива, що згоріла в точці z	0,9783
Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z	1,0733
A_{yz}	20,5416
b_z	0,00369
A_{yb}	20,6244
B_b	0,00372
Середня мольна ізохорна теплоємність у точці z визначається за формулою: $C_{yz} = 20,5416 + 0,00369 \cdot T$	
Середня мольна ізохорна теплоємність у точці b визначається за формулою: $C_{yb} = 20,0479 + 0,00315 \cdot T$	
Максимальна температура згоряння, К	2 646,0
Максимальний тиск згоряння, МПа	4,377
<i>Розрахунок процесу розширення</i>	
Ступінь попереднього розширення	2,694
Ступінь подальшого розширення	5,197
Середній показник політропи розширення	1,2131
Температура наприкінці процесу розширення, К	1 861,0
Тиск наприкінці процесу розширення, МПа	0,5927
<i>Індикаторні показники</i>	
Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа	1,3583

Дійсний середній індикаторний тиск, МПа	1,3311
Індикаторний ККД	0,3796
Індикаторна питома витрата газу, м ³ /(кВт×год)	0
Індикаторна питома витрата рідкого палива, кг/(кВт×год)	0,2147
Індикаторна питома витрата альтернативного палива, кг/(кВт×год)	0
Індикаторна потужність двигуна, кВт	165,8
<i>Ефективні показники</i>	
Середній ефективний тиск, МПа	1,1182
Ефективний ККД двигуна	0,3189
Ефективна питома витрата рідкого палива, кг/(кВт×год)	0,2556
Ефективна потужність двигуна, кВт	139,2
Найнижча теплотворна здатність нафтового палива, кДж/кг	44163

Тепловий розрахунок двигуна 4Ч 8,9/10 на водні та біоетанолі

Параметр	Значення
<i>Вихідні дані</i>	
Діаметр циліндра, м	0,089
Хід поршня, м	0,1
Частота обертання, хв ⁻¹	6000
Тактність	0,5
Число циліндрів	4
Тиск наддуву, МПа	0,103
Тиск навколишнього середовища, МПа	0,103
Температура навколишнього середовища, К	297
Показник політропи стиснення в компресорі	1,8
Коефіцієнт надлишку повітря для згорання	0,98
Коефіцієнт продувки	1,05

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Коефіцієнт залишкових газів	0,05
Коефіцієнт використання тепла в точці z	0,9
Коефіцієнт використання тепла в точці b	0,92
Ступінь стиснення	14
Ступінь підвищення тиску при згорянні	1,2
Підігрів заряду від стінок циліндра	10
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	0,98
Коефіцієнт втрати тиску у впускному колекторі	0,98
Механічний ККД двигуна	0,84
Втрата тиску в повітроохолоджувачі	0,003
Температура залишкових газів, К	800
Рідке нафтове паливо, %	0
Газоподібне паливо - водень H_2 0	0,1
Альтернативне паливо – біоетанол C_2H_5OH 0	0,9
<i>Розрахунок процесу наповнення</i>	
Температура повітря за компресором, К	297,0
Температура заряду перед двигуном, К	297,0
Температура заряду до кінця процесу наповнення, К	330,5
Тиск повітря перед двигуном, МПа	0,100
Тиск заряду до кінця процесу наповнення, МПа	0,098
Коефіцієнт наповнення	0,9033
<i>Розрахунок процесу стиснення</i>	
A_{vc}	19,3188
B_c	0,00255
Теплоємність газоповітряної суміші та залишкових газів на ході стиснення визначається за формулою: $C_{vc} = 19,3188 + 0,00255 \cdot T$	
Середній показник політропи стиснення	1,371
Тиск наприкінці стиснення, МПа	3,6523

Температура наприкінці стиснення, К	879,7
<i>Розрахунок процесу згоряння</i>	
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	0,9344
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	0,9375
Частка палива, що згоріла в точці z	0,9783
Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z	0,9389
Avz	20,4431
bz	0,00359
Avb	20,5194
Bb	0,00363
Середня мольна ізохорна теплоємність у точці z визначається за формулою: $C_{vz}=20,4431+0,00359 \cdot T$	
Середня мольна ізохорна теплоємність у точці b визначається за формулою: $C_{vb}=20,5194+0,00363 \cdot T$	
Максимальна температура згоряння, К	3004,0
Максимальний тиск згоряння, МПа	4,383
<i>Розрахунок процесу розширення</i>	
Ступінь попереднього розширення	2,672
Ступінь подальшого розширення	5,24
Середній показник політропи розширення	1,2035
Температура наприкінці процесу розширення, К	2143,0
Тиск наприкінці процесу розширення, МПа	0,5970
<i>Індикаторні показники</i>	
Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа	1,3572
Дійсний середній індикаторний тиск, МПа	1,3301
Індикаторний ККД	0,3709
Індикаторна питома витрата водню, $\text{м}^3/(\text{кВт} \cdot \text{год})$	0,09
Індикаторна питома витрата біоетанолу, $\text{кг}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$	0,2854
Індикаторна потужність двигуна, кВт	165,6

<i>Ефективні показники</i>	
Середній ефективний тиск, МПа	1,1173
Ефективний ККД двигуна	0,3116
Ефективна питома витрата водню, м ³ /(кВт×год)	0,11
Ефективна питома витрата біоетанолу, кг/(кВт×год)	0,3398
Ефективна потужність двигуна, кВт	139,1
Найнижча теплотворна здатність водню, кДж/м ³	10768,3
Найнижча теплотворна здатність біоетанолу, кДж/кг	30600,0

Аналіз ефективності використання водню та біоетанолу

На рис. 3.1 представлено двигун 100, оснащений стандартним впускним колектором 26, через який здійснюється подача повітря через впуск 28. Кількість повітря, що надходить у впускний тракт, регулюється дросельною заслінкою 30. Газообмін у циліндрі забезпечується впускним клапаном 64 та випускним клапаном 66, а відведення відпрацьованих газів здійснюється через випускний колектор 70. Подавання палива в камеру згоряння 50 реалізується за допомогою паливної форсунки 48.

У базовому чотиритактному циклі роботи двигуна з іскровим запалюванням повітря або повітряно-воднева суміш надходить у камеру згоряння 50 під час такту впуску при русі поршня 12 вниз. Після закриття впускного клапана 64 поршень переміщується вгору, здійснюючи такт стиснення, під час якого форсункою 48 у камеру згоряння впорскується рідке паливо у вигляді дрібнодисперсного факела. Наприкінці такту стиснення ініціюється іскрове запалювання суміші, унаслідок чого відбувається згоряння, зростання тиску і температури та виконання корисної роботи під час робочого ходу. Випуск відпрацьованих газів здійснюється під час такту випуску через клапан 66 і колектор 70.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

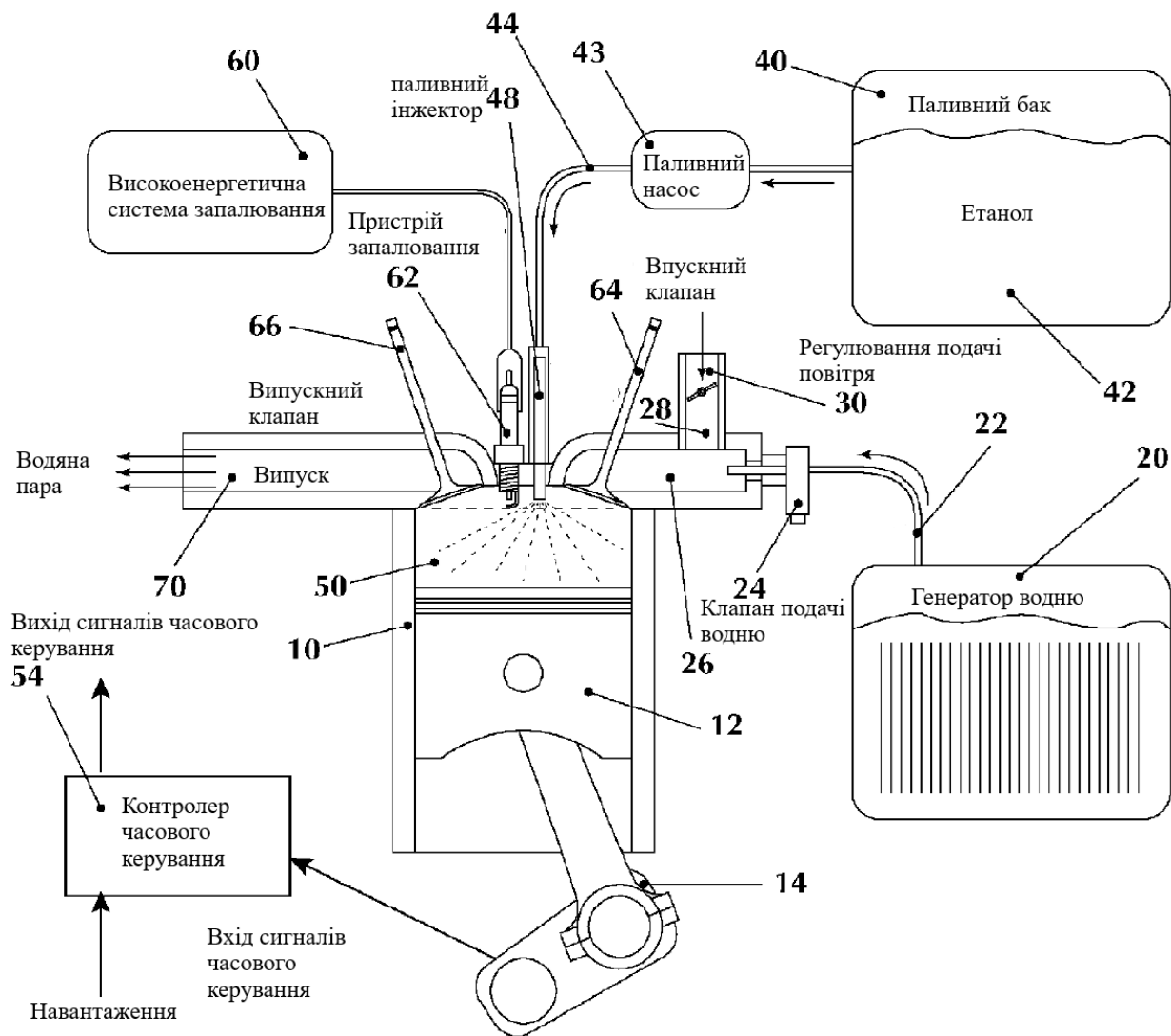


Рисунок 3.1 – Схема паливної системи

Модифікований двигун 100 додатково обладнаний джерелом 20 водню, яке призначене для формування невеликої кількості водневої домішки. Джерело 20 виконане у вигляді електролітичного реактора, що забезпечує отримання газової суміші водню та кисню у стехіометричному співвідношенні H_2/O_2 . Отримана газова суміш подається у впускний колектор 26 через трубопровід 22 та керувальний клапан 24.

Слід зазначити, що кількість водневої домішки, яка вводиться у впускний тракт, є незначною порівняно з масовою витратою повітря, тому вміст кисню в цій суміші практично не впливає на загальний склад робочого

тіла і може бути знехтуваний. Таким чином, джерело 20 фактично використовується як додатковий генератор водню. За аналогічним принципом можуть застосовуватися й інші типи генераторів водню.

Крім того, двигун 100 оснащений паливним баком 40, у якому зберігається паливо 42. Подача палива з бака 40 до паливної форсунки 48 здійснюється насосом 43 через трубопровід 44.

Паливо 42 подається до форсунки 48 під тиском у межах 200–3000 PSI, причому в дослідному варіанті двигуна використовувався тиск близько 2000 PSI, що забезпечувало якісне розпилення та рівномірне сумішоутворення.

На відміну від раніше відомих систем, у яких водень використовувався лише як допоміжна домішка до викопного палива, у розглянутому двигуні 100 основним енергоносієм є біоетанол, що не містить компонентів викопного походження. Такий підхід дозволяє істотно зменшити споживання традиційних палив і покращити екологічні показники роботи двигуна з іскровим запалюванням.

Двигун 100 додатково оснащений високоенергетичною системою запалювання 60, яка забезпечує подачу електричного струму до пристрою запалювання 62 (стандартної іскрової свічки), розташованої в камері згоряння 50. Система 60 та свічка 62 є типовими елементами, широко застосовуваними в двигунах внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють на легких рідких паливах, зокрема на спиртовмісних сумішах.

Керування робочими процесами двигуна 100 здійснюється часовим контролером 54, який зазвичай мікропроцесор. Контролер 54 отримує вхідні часові сигнали, сформовані на основі положення колінчастого вала (не показаний), а також сигнал навантаження, що є показником поточного режиму роботи двигуна 100. Зазначений сигнал навантаження формується з використанням загальноприйнятих методів вимірювання параметрів роботи двигуна. На основі вхідної інформації контролер 54 формує вихідні керувальні сигнали, які визначають моменти спрацювання пристрою

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

запалювання 62, паливної форсунки 48, керувального клапана 24 подачі водню та дросельної заслінки 30 впускного повітря. Відкривання та закривання газорозподільних клапанів 64 і 66 здійснюється за допомогою традиційного розподільного вала (не показаний).

Як показано на рисунках 3.2 та 3.3, верхня поверхня поршня 12 може бути виконана з поглибленням 70. Геометричні розміри та форма цього поглиблення 70 підбираються таким чином, щоб забезпечити заданий ступінь стиснення, а також інтенсифікувати турбулентність паливного факела 52. Для цього поглиблення 70 розташоване так, що під час руху поршня 12 у напрямку верхньої мертвої точки і впорскування форсункою 48 розбіжного факела 52 паливної суміші, форма поверхні поглиблення сприяє утворенню вихрових потоків і покращенню сумішоутворення.

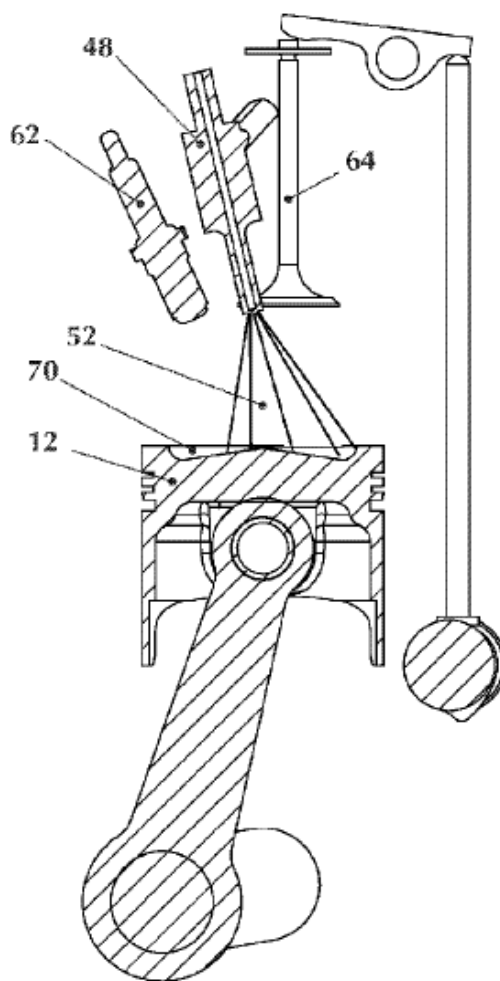


Рисунок 3.2 – Розташування елементів паливної системи (вид 1)

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

В одному з режимів роботи паливна форсунка 48 формує один розбіжний факел 52 за кожен цикл. В альтернативних режимах можливе впорскування від однієї до п'яти паливних порцій залежно від типу використовуваного палива (, навантаження на двигун, температури навколишнього середовища та інших експлуатаційних факторів. У разі багатофазного впорскування перша порція палива подається значно раніше моменту займання з метою збагачення парової суміші в камері 50, тоді як наступні порції впорскуються безпосередньо перед початком згоряння та частково під час його перебігу.

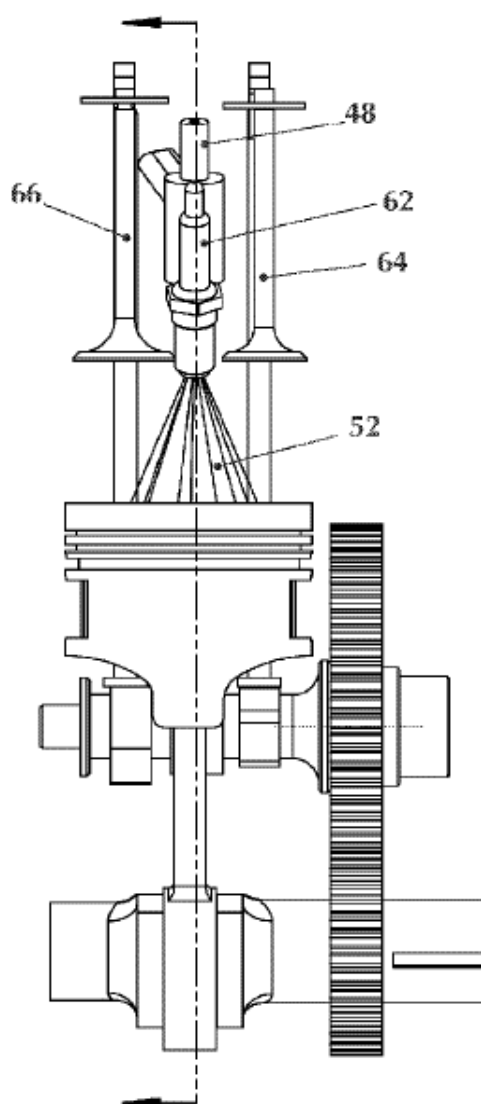


Рисунок 3.3 – Розташування елементів паливної системи (вид 2)

За принципом дії двигун 100 загалом відповідає чотиритактному двигуну внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, однак має низку принципових відмінностей. Під час такту впуску, коли поршень 12 здійснює рух, клапани 30, 24 та 64 перебувають у відкритому стані, що забезпечує надходження повітря та водневої домішки до камери згоряння 50 і їх інтенсивне перемішування. Об'ємна частка водневої суміші у загальному об'ємі циліндра є незначною і становить приблизно 0,5–2 %, тому внесок кисню, що міститься у цій суміші, є мізерним порівняно з киснем атмосферного повітря. У зв'язку з цим вирішальне значення має саме наявність водню (H_2).

Під час такту стиснення впускний клапан 64 закривається, а поршень 12 переміщується вгору, стискаючи газову суміш у камері 50. У заздалегідь визначений момент, зазвичай приблизно за 20° до верхньої мертвої точки, паливна форсунка 48 впорскує в камеру 50 розбіжний факел 52 дрібнодисперсних крапель водно-біоетанольної суміші, які інтенсивно перемішуються з повітряно-водневою сумішшю.

Подальше стиснення призводить до досягнення дуже високих значень тиску та температури, внаслідок чого в камері згоряння 50 формується високореакційна суміш. Запалювання цієї суміші здійснюється, як правило, поблизу верхньої мертвої точки за допомогою іскрової свічки 62, що ініціює швидкий процес згоряння. У результаті хімічна енергія палива перетворюється на теплову, а робоче тіло в камері 50 переходить у стан гарячих газів із дуже високим тиском, основною складовою яких є водяна пара.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Мета дослідження полягає в аналітичному обґрунтуванні економічної доцільності використання в двигуні альтернативного палива.

У таблиці 4.1 приведені техніко-економічні показники двигуна 4Ч 8,9/10 (Mazda Skyactiv-G 2.5) з використанням бензину та альтернативного палива.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники двигуна

Найменування	Позначення	Розмірність	Базовий двигун	Спроектований двигун
Потужність	N_e	кВт	139	139
Частота обертання	n	хв^{-1}	6000	6000
Діаметр циліндра, м	D	м	0,89	0,89
Хід поршня, м	S	м	0,1	0,1
Питома витрата палива	g_{ep}	кг/кВт·год	0,256	0,316
Механічний ккд	η_m	-	0,84	0,84
Питома витрата масла	g_m	кг/кВт·год	0,0022	0,0022
Ціна двигуна	C	грн	800000	1050000
Ціна палива	$C_{\text{п}}$	грн/кг	60	45
Ціна масла	C_m	грн/кг	50	50
Час роботи за рік	t	год	700	700
Число контрольних ремонтів	η	-	1	1
Сумарний коефіцієнт по капітальних ремонтах	$\epsilon_{\min}$	-	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

$$T = \frac{t_{к.р.}}{t}, \text{ рік}$$

3) Річні поточні витрати на паливо

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

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4) Річні поточні витрати на масло

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

5) Річні витрати на поточний ремонт

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

6) Річні поточні витрати на капітальний ремонт

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

7) Річний економічний ефект у споживача

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

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

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

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

9) Час окупності модернізованого двигуна

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

де ΔK – додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна,

ΔS – річна економія при експлуатації модернізованого двигуна

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

Результати розрахунку економічної ефективності представлені в табл. 4.2.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						47
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	82705,0	82705,0
Термін служби	T	рік	10,0	10,0
Річні поточні витрати на паливо	Z_p	грн	1270348,8	1176065,1
Річні поточні витрати на масло	Z_m	грн	9097,6	9097,6
Річні витрати на поточний ремонт	$Z_{п.р}$	грн	933,3	1225,0
Річні витрати на капітальний ремонт	$Z_{к.р}$	грн	1527,3	2004,5
Річний економічний ефект у споживача	U_1	грн	1281907,0	1188392,2
	U_1^{16}	грн	1281907,0	-
Річний економічний ефект у споживача від використання спроектованого двигуна	E_k	грн	181606,6	
Додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна	ΔK	грн	250000,0	
Річна економія при експлуатації модернізованого двигуна	ΔS	грн	93514,8	
Час окупності модернізованого двигуна	$T_{окуп}$	рік	2,67	
		місяць	32,08	

Річний економічний ефект спроектованого двигуна в порівнянні з базовим двигуном за рахунок використання альтернативного палива у розмірі 181606,6,1 грн. Заміна базового двигуна окупиться приблизно за 32 місяця.

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Вступ

Сучасний розвиток автомобільного транспорту характеризується активним впровадженням альтернативних палив як засобу підвищення енергоефективності, зниження споживання нафтопродуктів та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. До альтернативних палив, що знаходять практичне застосування в автомобільних двигунах, належать газоподібні палива (стиснений і скраплений природний газ, зріджений нафтовий газ), біопалива, спиртові та синтетичні палива, водень, а також комбіновані й гібридні паливно-енергетичні системи.

Разом із очевидними екологічними та економічними перевагами застосування альтернативних палив супроводжується появою нових небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Це обумовлює підвищені вимоги до системи охорони праці під час експлуатації, технічного обслуговування та ремонту автомобільних двигунів. Тому питання забезпечення безпечних умов праці при використанні альтернативних палив є актуальним і потребує комплексного науково-технічного обґрунтування.

Нормативно-правова база з охорони праці та безпеки

Забезпечення охорони праці при використанні альтернативних палив в автомобільних двигунах регламентується чинним законодавством України та міжнародними нормативними документами, зокрема:

- Закон України «Про охорону праці» – визначає загальні принципи державної політики у сфері безпеки праці;
- Закон України «Про пожежну безпеку»;
- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»;

- Кодекс цивільного захисту України;
- ДСТУ та ГОСТ, що регламентують вимоги до газобалонного обладнання, паливних систем, вентиляції та пожежної безпеки;
- Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском;
- ISO 45001 – системи управління охороною праці;
- ISO 23273, ISO 14687 – безпека водневих систем;
- директиви та рекомендації ЄС щодо альтернативних палив і транспортної безпеки.

Дотримання зазначених нормативів є обов'язковою умовою безпечного впровадження альтернативних паливних технологій [8].

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

При використанні альтернативних палив в автомобільних двигунах на персонал можуть впливати такі фактори:

- пожежо- та вибухонебезпека, пов'язана з високою займистістю газів, спиртів і водню;
- високий тиск у паливних системах (CNG, водень), що створює ризик руйнування елементів;
- токсичний вплив палив і продуктів їх згоряння (метанол, формальдегіди, оксиди азоту);
- кріогенні небезпеки при роботі зі скрапленими газами;
- електричні ризики у гібридних та комбінованих силових установках;
- підвищений рівень шуму, вібрації та теплового випромінювання.

Наявність зазначених факторів вимагає застосування спеціальних організаційних та технічних заходів безпеки.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Вимоги охорони праці при експлуатації автомобільних двигунів

Під час експлуатації транспортних засобів на альтернативних паливах необхідно:

- забезпечувати постійний контроль герметичності паливної системи;
- застосовувати системи автоматичного виявлення витоків палива;
- суворо дотримуватися регламентованих режимів тиску та температури;
- забороняти експлуатацію автомобіля при наявності запаху газу або ознак несправності;
- забезпечувати ефективну вентиляцію моторного відсіку і приміщень стоянки;
- не допускати перебування сторонніх осіб у зонах підвищеної небезпеки.

Забезпечення охорони праці під час технічного обслуговування

Технічне обслуговування автомобільних двигунів на альтернативних паливах повинно виконуватися з дотриманням таких вимог:

- проходження персоналом спеціального навчання та періодичної перевірки знань;
- використання засобів індивідуального захисту (спецодяг, рукавиці, окуляри, антистатичне взуття);
- попереднє зниження тиску або відключення подачі палива;
- застосування іскробезпечного інструменту;
- виконання робіт у спеціально обладнаних приміщеннях із примусовою вентиляцією.

Вимоги безпеки під час ремонту паливних систем

Ремонтні роботи є найбільш небезпечним етапом з точки зору охорони праці. Під час ремонту необхідно:

- повністю дегазувати або зливати паливо з системи;
- проводити контроль газового середовища;

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- забороняти використання відкритого полум'я;
- дотримуватися технологічних карт і інструкцій виробників;
- забезпечувати наявність первинних засобів пожежогасіння.

Особливості охорони праці при використанні різних альтернативних палив

Газоподібні палива

Газоподібні палива застосовуються в автомобільних двигунах як у вигляді монотопливних систем, так і в складі двопаливних (бензин–газ) схем. Основною особливістю таких систем є робота під підвищеним або високим тиском, а також наявність балонів, редукторів, магістралей і запобіжної арматури.

Стиснений природний газ зберігається в балонах під тиском до 20–25 МПа, тоді як зріджений нафтовий газ перебуває під відносно нижчим тиском, але легко випаровується і утворює вибухонебезпечні газоповітряні суміші. Ці особливості визначають специфіку вимог охорони праці при їх використанні.

При експлуатації автомобілів на газоподібних паливах на персонал можуть впливати такі фактори:

- вибухо- та пожежонебезпека, пов'язана з витоком газу та утворенням займистих сумішей;
- високий тиск у балонах і паливних магістралях, що створює ризик їх руйнування;
- задушлива дія газу (особливо метану) при витісненні кисню з повітря;
- накопичення LPG у нижніх зонах приміщень, оскільки пропан-бутан важчий за повітря;
- механічні травми при обслуговуванні балонів і запірної арматури;
- термічні ураження при різкому розширенні газу або аварійному скиданні тиску.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Під час експлуатації транспортних засобів, що працюють на CNG або LPG, необхідно:

- здійснювати постійний контроль герметичності газової системи;
- експлуатувати автомобілі лише з сертифікованим газобалонним обладнанням;
- забороняти експлуатацію транспортного засобу при виявленні запаху газу або падінні тиску;
- забезпечувати автоматичне перекриття подачі газу при аварійних ситуаціях;
- дотримуватися правил безпечної стоянки автомобілів у закритих приміщеннях;
- виключати куріння та використання відкритого вогню поблизу автомобіля.

Технічне обслуговування газобалонних автомобілів вимагає підвищеної дисципліни та спеціальної підготовки персоналу. Основними вимогами є:

- виконання робіт лише після зниження або повного зняття тиску в газовій системі;
 - застосування іскробезпечного інструменту;
 - використання газоаналізаторів для контролю атмосфери робочої зони;
 - проведення робіт у приміщеннях з примусовою вентиляцією;
- обов'язкове застосування антистатичного спецодягу та взуття.

Ремонт паливної апаратури газоподібних палив належить до робіт підвищеної небезпеки. Під час ремонту необхідно:

- виконувати повну дегазацію балонів і трубопроводів;
- перевіряти відсутність газу в робочій зоні перед початком робіт;
- зберігати балони відповідно до вимог пожежної безпеки;
- суворо дотримуватися технологічних інструкцій і регламентів;
- забезпечувати постійну готовність засобів пожежогасіння.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для зниження виробничих ризиків при використанні газоподібних палив необхідно:

- проводити регулярні навчання та інструктажі персоналу;
- здійснювати періодичні перевірки технічного стану газобалонного обладнання;
- впроваджувати системи планово-попереджувального обслуговування;
- вести облік і аналіз аварійних ситуацій та витоків газу;
- забезпечувати чітке маркування автомобілів, що працюють на газі.

Біопалива та спиртові палива

Спиртові палива застосовуються в автомобільних двигунах як у чистому вигляді (переважно в експериментальних або спеціалізованих установках), так і у вигляді сумішей із бензином. Їх фізико-хімічні властивості суттєво відрізняються від традиційних вуглеводневих палив, зокрема підвищеною леткістю, гігроскопічністю та полярністю молекул.

Особливістю спиртових палив є їх здатність активно поглинати вологу з повітря, що впливає на корозійну стійкість елементів паливної системи та умови праці під час експлуатації і технічного обслуговування двигунів.

При використанні спиртових палив в автомобільних двигунах на персонал можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори:

- підвищена пожежонебезпечність, зумовлена низькою температурою спалаху спиртів;
- токсичний вплив парів, особливо метанолу, який є високонебезпечною отруйною речовиною;
- шкідливий вплив на органи зору та дихання при вдиханні парів;
- шкірно-резорбтивна дія, можливість проникнення через шкіру;
- корозійний вплив на металеві та полімерні елементи паливної системи;
- утворення вибухонебезпечних сумішей з повітрям у разі витоків.

Під час експлуатації автомобільних двигунів, що працюють на спиртових паливах, необхідно:

- забезпечувати герметичність паливної системи та регулярний контроль з'єднань;
- використовувати матеріали ущільнень і трубопроводів, стійкі до дії спиртів;
- не допускати експлуатації транспортних засобів при наявності витоків палива або характерного запаху;
- забезпечувати ефективну вентиляцію моторного відсіку та закритих приміщень;
- суворо забороняти використання відкритого вогню та куріння поблизу автомобіля;
- контролювати справність систем упорскування та електрообладнання.

Технічне обслуговування двигунів на спиртових паливах характеризується підвищеними вимогами до захисту персоналу. Під час виконання робіт необхідно:

- використовувати засоби індивідуального захисту (рукавиці, захисні окуляри, спецодяг);
- уникати прямого контакту шкіри з паливом;
- проводити роботи в приміщеннях з примусовою вентиляцією;
- здійснювати злив і заправку палива з використанням закритих систем;
- застосовувати інструмент, що не створює іскор;
- проводити регулярне очищення та заміну фільтрів, забруднених спиртовими залишками.

Ремонтні роботи з паливною апаратурою спиртових палив належать до робіт підвищеної небезпеки. Основними вимогами є:

- повне спорожнення та промивання паливної системи перед ремонтом;
- контроль концентрації парів спирту в повітрі робочої зони;
- заборона використання відкритого полум'я та нагрівальних приладів;

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- суворе дотримання технологічних карт і інструкцій виробника;
- наявність первинних засобів пожежогасіння, ефективних для горючих рідин.

Для зниження ризиків при використанні спиртових палив необхідно:

- проводити спеціалізоване навчання персоналу щодо властивостей спиртів;
- організовувати періодичні медичні огляди працівників;
- здійснювати контроль умов зберігання та транспортування спиртових палив;
- впроваджувати планово-попереджувальну систему обслуговування;
- вести облік аварійних ситуацій та випадків витоків палива.

Висновки

Таким чином, використання альтернативних палив в автомобільних двигунах є перспективним напрямком розвитку транспортної енергетики, однак воно супроводжується підвищеними вимогами до охорони праці. Комплексне дотримання нормативно-правових вимог, впровадження сучасних технічних засобів безпеки, належна підготовка персоналу та контроль за станом паливних систем дозволяють забезпечити безпечні умови праці при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті автомобільних двигунів на альтернативних паливах.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження можливостей підвищення техніко-економічних та екологічних показників малолітражного автомобільного двигуна 4Ч 8,9/10 (Mazda Skyactiv-G 2.5) шляхом використання альтернативних палив. Актуальність обраної теми зумовлена посиленням екологічних вимог до автомобільного транспорту, необхідністю скорочення викидів шкідливих речовин і парникових газів, а також обмеженістю запасів традиційних нафтових палив.

У роботі проведено детальний аналіз сучасних напрямів використання альтернативних палив в автомобільних двигунах внутрішнього згоряння, зокрема газоподібних, біологічних, синтетичних палив, водню, а також комбінованих і змішаних паливних систем. Показано, що кожен із розглянутих видів альтернативних палив має власні переваги та обмеження, які визначають доцільність їх практичного застосування залежно від типу двигуна, режимів роботи та експлуатаційних умов.

Особливу увагу в роботі приділено дослідженню ефективності використання водню та біоетанолу як альтернативних палив для двигуна Skyactiv-G 2.5. Виконані теплові розрахунки робочого процесу двигуна на традиційному бензині та на суміші водню з біоетанолом дозволили порівняти основні індикаторні та ефективні показники. У результаті встановлено, що застосування комбінованої паливної схеми з використанням водню як ініціатора згоряння та біоетанолу як основного рідкого палива створює передумови для інтенсифікації процесу згоряння, підвищення повноти використання теплоти палива та покращення екологічних характеристик двигуна.

Проведений аналіз підтвердив, що біоетанол є ефективним альтернативним паливом для двигунів з примусовим запалюванням завдяки високому октановому числу та наявності кисню в молекулярній структурі, що

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

сприяє зниженню токсичності відпрацьованих газів. Водночас водень, незважаючи на наявні технічні та інфраструктурні обмеження, є найбільш перспективним альтернативним паливом у довгостроковій перспективі, оскільки принципово не містить вуглецю та забезпечує мінімальні вуглецеві викиди під час використання.

У роботі також розглянуто економічне обґрунтування застосування альтернативних палив, яке показало, що найбільш доцільним на сучасному етапі є їх використання у вигляді сумішей або комбінованих паливних систем. Такий підхід дозволяє зменшити споживання традиційних нафтових палив і скоротити екологічне навантаження без необхідності радикальної зміни конструкції двигуна або повної заміни існуючої інфраструктури.

Окремий розділ кваліфікаційної роботи присвячено забезпеченню вимог охорони праці при використанні альтернативних палив. Проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для експлуатації, технічного обслуговування та ремонту автомобільних двигунів на альтернативних паливах, і запропоновано комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на мінімізацію професійних ризиків. Показано, що впровадження альтернативних палив потребує підвищеного рівня безпеки праці, спеціальної підготовки персоналу та дотримання вимог пожежної, вибухової й екологічної безпеки.

Узагальнюючи результати виконаної роботи, можна зробити висновок, що використання альтернативних палив є важливим і неминучим напрямом розвитку автомобільного транспорту. У коротко- та середньостроковій перспективі найбільш раціональним є застосування біопалив, спиртових палив і комбінованих паливних систем, які забезпечують поступовий перехід до більш екологічно чистих технологій. У довгостроковій перспективі саме водень слід розглядати як найбільш перспективне альтернативне паливо для автомобільних двигунів внутрішнього згоряння, здатне забезпечити

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

принципово новий рівень екологічної безпеки, енергетичної ефективності та сталого розвитку транспортної галузі.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані в навчальному процесі, при виконанні подальших науково-дослідних робіт, а також при розробленні й удосконаленні автомобільних двигунів, адаптованих до роботи на альтернативних видах палива.

					<i>KPM.142.6221мз.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. https://mazda-west.cv.ua/ua/showroom/new_mazda6/skyactive_m6.
2. Артюх О. М., Дударенко О. В., Кузьмін В. В., Сосик А. Ю., Щербина А. В. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 264 с.
3. Шапко В. Ф., Шапко С. В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. Харків : Точка, 2016. – 232 с.
4. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни : підручник. Київ : Арістей, 2006. – 476 с.
5. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах / за редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. Т. 1: Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. 493 с.
6. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах / за редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. Т. 6: Надійність ДВЗ. 421 с.
7. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.
8. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

					КРМ.142.6221мз.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		