

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 ВПОРСКУВАННЯ
ПАЛИВА ДВОМА ФОРСУНКАМИ В БАГАТОЦИЛІНДРОВОМУ
ДВИГУНІ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Аркадій ПРОСКУРІН

Здобувач освіти



Іван ГОЛОВЧИЦЬ

Миколаїв 2025

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

Олексій ГОГОРЕНКО

« » 20 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Головчіц Іван Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз ефективності використання впорскування палива двома форсунками в багатоциліндровому двигуні

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 20 року №

3. Строк подання здобувачем роботи _____

4. Вихідні дані до роботи Двигун – 6Ч 8,3/7,7 (Toyota 4GR-FSE); паливо – бензин;
потужність двигуна – 150 кВт, частота обертання колінчастого валу – 6400 хв⁻¹

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Особливості застосування двигуна 6Ч 8,3/7,7 (Toyota 4GR-FSE) на легковому автомобільному транспорті; Аналіз сучасних способів покращення показників роботи автомобільних двигунів; Визначення ефективності використання двох форсунок у двигуні 6Ч 8,3/7,7 (Toyota 4GR-FSE); Забезпечення вимог охорони праці; Економічне обґрунтування

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Поперечний переріз двигуна 6Ч 8,3/7,7 (Toyota 4GR-FSE); Розміщення паливних форсунок у двигуні. Вид збоку; Розміщення паливних форсунок у двигуні. Вид зверху; Загальний вигляд допоміжного впускного колектора; Розташування додаткових елементів паливної системи

7. Консультанти розділів роботи

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

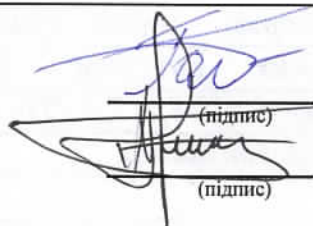
8. Дата видачі завдання _____

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)

Іван ГОЛОВЧИЦ

(прізвище та ініціали)

Аркадій ПРОСКУРІН

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення показників роботи багатоциліндрового двигуна шляхом використання двох форсунок. Розглянуто економічне обґрунтування. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 63 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 8 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: багатоциліндровий двигун, бензин, паливна форсунка, монтаж.

The qualification work presents a set of measures to improve the performance of a multi-cylinder engine by using two injectors. The economic justification was considered. Measures to ensure occupational safety are also provided.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 63 pages of explanatory note. 8 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1.

Key words: multi-cylinder engine, gasoline, fuel injector, installation.

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

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Особливості застосування двигуна 6Ч 8,3/7,7 (Toyota 4GR-FSE) на легковому автомобільному транспорті.....	5
Розділ 2. Аналіз сучасних способів покращення показників роботи автомобільних двигунів.....	16
Розділ 3. Визначення ефективності використання двох форсунок у двигуні 6Ч 8,3/7,7 (Toyota 4GR-FSE).....	28
Розділ 4. Економічне обґрунтування.....	51
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	55
Висновки.....	61
Список використаної літератури.....	63
Додаток А. Поперечний переріз двигуна 6Ч 8,3/7,7 (Toyota 4GR-FSE).....	64
Додаток Б. Розміщення паливних форсунок у двигуні. Вид збоку.....	65
Додаток В. Розміщення паливних форсунок у двигуні. Вид зверху.....	66
Додаток Г. Загальний вигляд допоміжного впускного колектора.....	67
Додаток Д. Розташування додаткових елементів паливної системи.....	68

ВСТУП

Посилення екологічних норм (Euro 6, перспективні вимоги рівня Euro 7 та аналогічні стандарти в інших регіонах світу) змушує автовиробників шукати нові технічні рішення, які дозволяють одночасно знижувати витрату палива, обмежувати токсичність відпрацьованих газів і зберігати або навіть покращувати динамічні характеристики автомобіля. Одним із таких напрямів є використання двох форсунок для впорскування бензину – як в межах одного типу системи (дві безпосередні форсунки, дві розподілені), так і у комбінованих схемах (поєднання розподіленого та безпосереднього впорскування в одному циліндрі).

Комбіновані системи з двома форсунками дозволяють частину палива подавати у впуск, забезпечуючи краще випаровування та однорідність суміші, а безпосереднє впорскування використовувати для точного коригування складу суміші в зоні свічки та реалізації стратифікованого згоряння на збіднених режимах. Це дає змогу знижувати викиди твердих частинок при збереженні високої ефективності.

Мета даної роботи – розробити умови по покращенню експлуатаційних параметрів роботи двигуна 6Ч 8,3/7,7 (Toyota 4GR-FSE) шляхом використання впорскування двома форсунками.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Аналіз сучасних способів покращення показників роботи автомобільних двигунів.
2. Аналіз ефективності використання впорскування двома форсунками
3. Оцінка запропонованих рішень, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – форсунки автомобільного двигуна.

Предмет дослідження – характеристики форсунок автомобільного двигуна.

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

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА 6Ч 8,3/7,7 (TOYOTA 4GR-FSE) НА ЛЕГКОВОМУ АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Двигуни Toyota серії GR – бензинові двигуни V6 виробництва Toyota. Двигуни серії GR складаються з литого алюмінієвого блоку двигуна з алюмінієвою головкою циліндрів з двома розподільними валами. Двигуни серії GR прийшли на зміну таким двигунам, як V-подібний 6-циліндровий MZ і рядний 6-циліндровий JZ, а також V6 VZ, що використовувався на легких вантажівках [1].

6Ч 8,3/7,7 (TOYOTA 4GR-FSE) (табл. 1.1, рис. 1.1 – 1.2) має робочий об'єм 2,5 літра і 24-клапанну головку циліндрів з двома верхніми розподільними валами. У двигуні використовуються: безпосереднє впорскування палива, система VVT і (інтелектуальне регулювання фаз газорозподілу), система запалювання з вихроутворюючий клапан з електронним управлінням (SCV) і інтелектуальна система управління положенням дросельної заслінки (ETCSi). Перераховані керуючі функції покликані поліпшити роботу двигуна, знизити витрату палива і викид токсичних речовин [1].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики двигуна

Параметр	Значення
Кількість циліндрів та компонування	6-циліндровий, V-подібний
Клапанний механізм	24-клапанний, DOHC, ланцюговий привід, VVT-i
Камера згоряння	Клиноподібна форма
Колектори	Поперечно-проточна схема
Паливна система	EFI D-4
Система запалювання	DIS (окремі котушки)
Робочий об'єм	2500 см ³ (152,6 куб. дюймів)

Діаметр × хід поршня	83,0 × 77,0 мм
Ступінь стиску	12,0 : 1
Максимальна потужність	150 кВт при 6400 хв ⁻¹
Максимальний крутний момент	252 Нм при 4800 хв ⁻¹
Ємність системи змащення	
Заправка «сухого» двигуна	7,2 л
З заміною масляного фільтра	6,3 л
Без заміни масляного фільтра	5,9 л
Клас масла	Індекс в'язкості 20W 50 і 15W40, групи SL або SM за API, всесезонне масло з індексом в'язкості 10W30 і 5W30 API групи SL, «енергозберігаюче» («EnergyConserving»), «Енергозберігаюче» групи SM або ILSAC всесезонне масло
Охолоджуюча рідина	
Тип	TOYOTA Genuine Super Long Life
Ємність системи	9,1 л
Свічки запалювання	
Тип	DENSO FK20HR11
Зазор	1,0–1,1 мм
Порядок роботи циліндрів	1–2–3–4–5–6
Октанове число	не менше 95
Стандарт токсичності	EURO IV
Експлуатаційна маса	180 кг

Двигун 4GR-FSE встановлювався на:

- Toyota Crown Royal & Athlete (GRS180/181, Японія, 2003)
- Toyota Mark X (GRX120/125, Японія, 2004)
- Lexus IS 250 & IS 250 °C (GSE20/25, 2006)
- Toyota Crown Royal & Athlete (GRS200/201, Японія, 2008)
- Toyota Mark X (GRX130/135, Японія, 2009)
- Lexus GS250 (2012)

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд двигуна 6Ч 8,3/7,7 (TOYOTA 4GR-FSE)

Блок циліндрів (рис. 1.2) виконаний з алюмінієвого сплаву і має невелику масу. Кут розвалу блоку становить 60 градусів, ряди циліндрів зміщені на 36,6 мм один відносно одного. Завдяки тому, що відстань між осями циліндрів становить 105,5 мм блок циліндрів має невеликі для свого робочого об'єму довжину і ширину.

Припливи для установки двох датчиків детонації розміщені на внутрішній стороні лівого і правого рядів циліндрів.

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

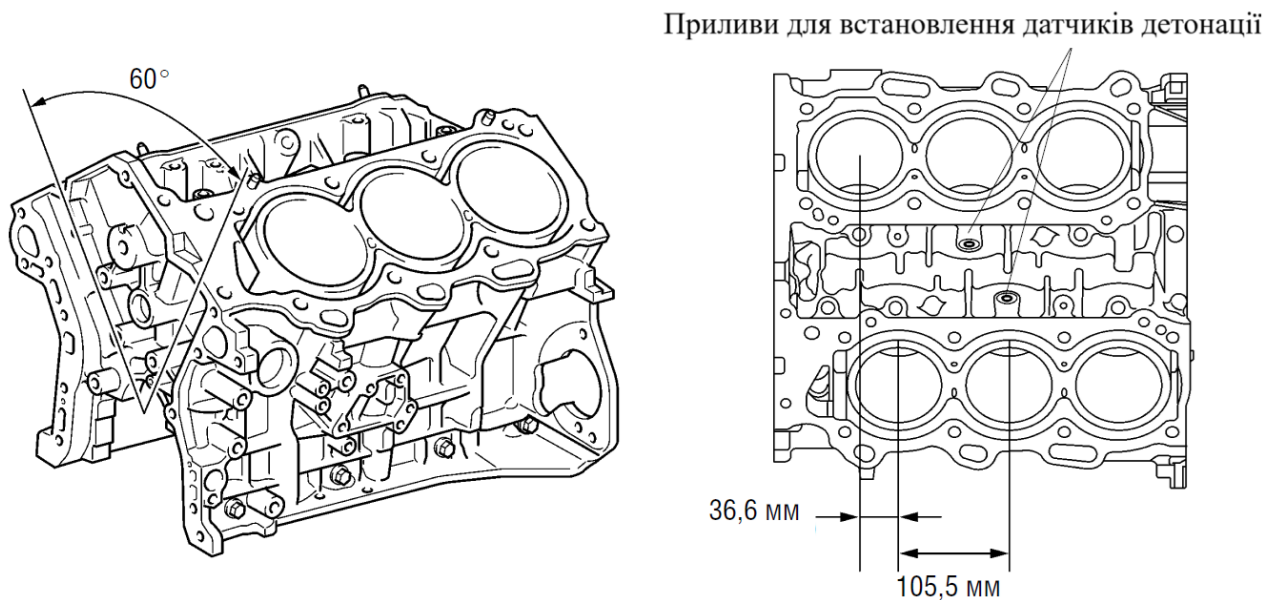


Рисунок 1.2 – Блок-циліндрів

Між циліндрами розташовані канали сорочки системи охолодження (рис. 1.3). Завдяки тому, що охолоджуюча рідина протікає між циліндрами, забезпечується рівномірне охолодження стінок циліндрів.



Рисунок 1.3 – Розташування каналів для охолодження

Компактність двигуна досягнута завдяки тому, що тонкостінні чавунні гільзи залиті безпосередньо в блок циліндрів. Блок циліндрів з такими гільзами не підлягає розточуванню. Гільзи циліндрів зовні мають розвинену

					<i>КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

ребристу поверхню, що забезпечує більш міцне з'єднання гільзи з алюмінієвим блоком циліндрів. Завдяки більш надійному контакту, поліпшується тепловідвід, в результаті зменшується загальна температура двигуна і теплова деформація гільз циліндрів.

Поршні (рис. 1.4) виготовлені з алюмінієвого сплаву.

Чаша в днищі поршня є частиною камери згоряння і сприяє підвищенню стійкості робочого процесу. Разом з шатровою камерою в головці циліндрів чаша в поршні дозволяє отримати високий ступінь стиснення при оптимальній геометрії камери згоряння, що забезпечує високу питому потужність і низьку витрату палива.

Для зменшення механічних втрат на спідницю поршня нанесено полімерне покриття.

Підвищення точності розточування дзеркала циліндра дозволило обійтися поршнем всього одного розміру.

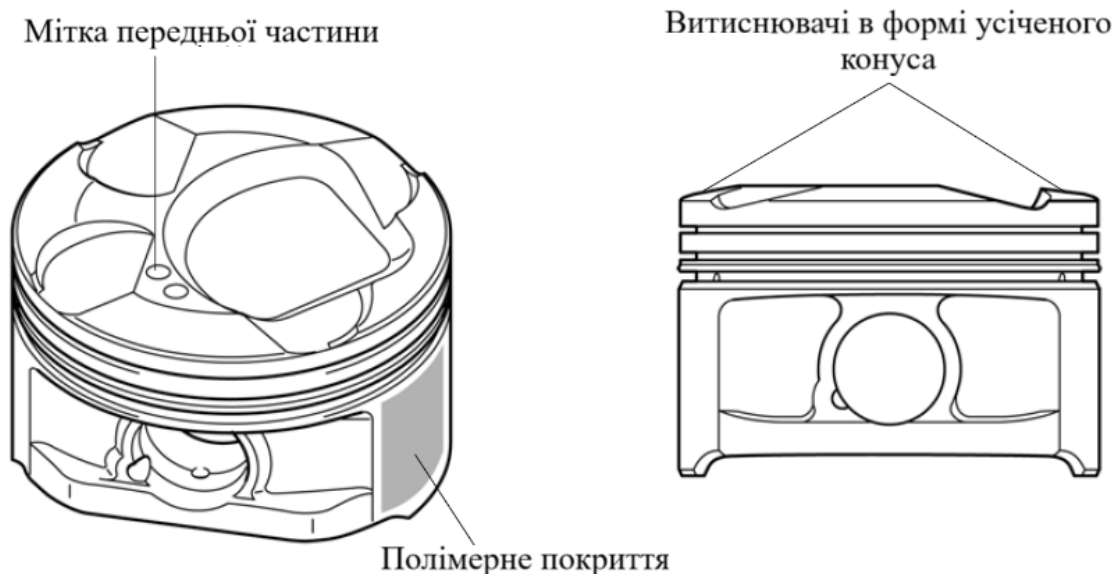


Рисунок 1.4 – Поршень двигуна

Шатуни та шатунні вкладиші

Для зниження маси двигуна використовуються штамповані високоміцні шатуни (рис. 1.5). Для точного суміщення кришок шатунних підшипників при складанні на сполучених поверхнях кришок передбачені напрямні штифти.

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

Тіло шатуна і шатунна кришка, для зниження маси, спікаються під тиском з високоміцного металевого порошку. Шатунна кришка кріпиться до тіла шатуна болтами, які тягнуться по межі плинності, що підвищує точність затягування.

Шатунні вкладиші виготовлені з алюмінієвого сплаву. Для зменшення тертя ширина вкладишів зменшена.

На поверхні тертя шатунного підшипника є мікрорельєф, виконаний розточуванням. В результаті поліпшуються умови створення масляної плівки. В результаті поліпшуються параметри холодного прокручування двигуна і зменшується тряска двигуна.

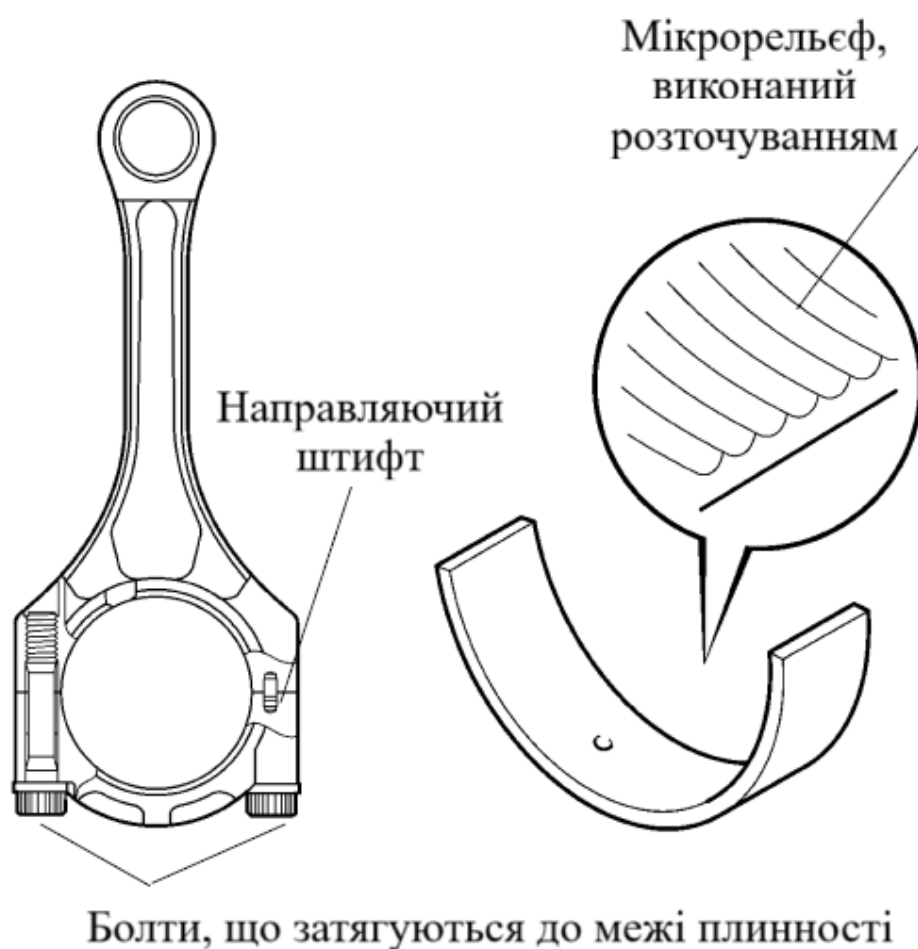


Рисунок 1.5 – Шатун та шатунний вкладиш

Колінчастий вал (рис. 1.6) сталевий, кований, має високу жорсткість і зносостійкість. Колінчастий вал має 4 корінні шийки і 5 противаг.

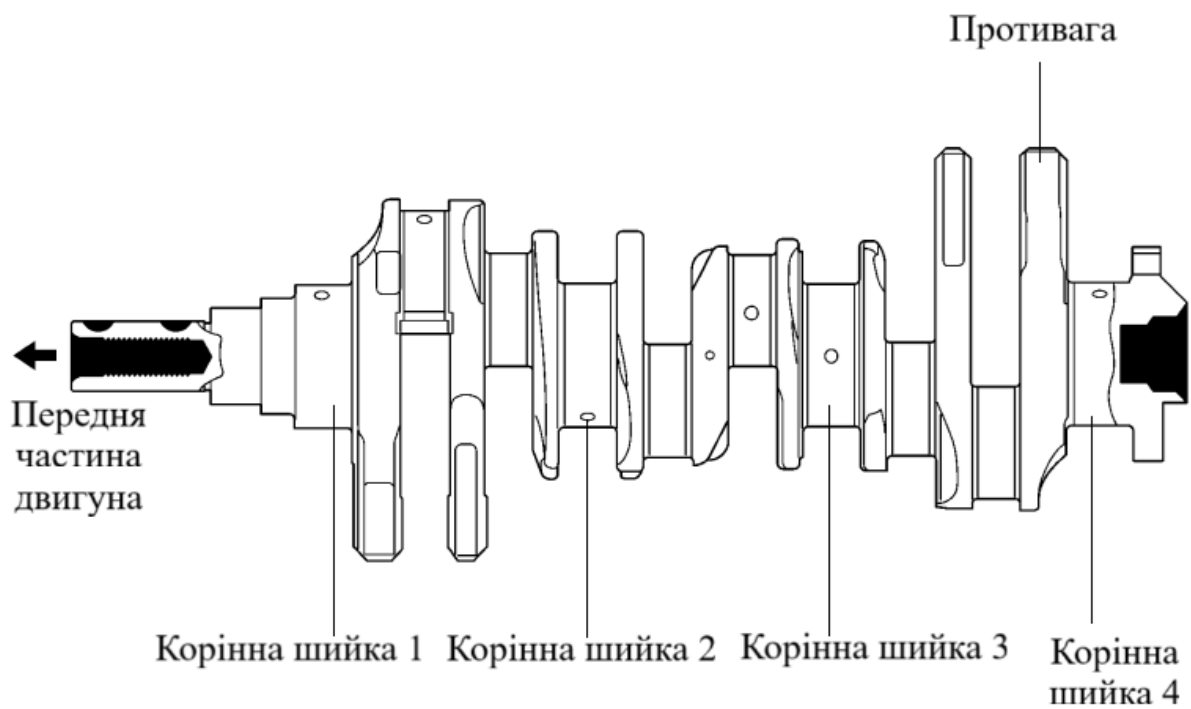


Рисунок 1.6 – Колінчастий вал

Корінні вкладиші та корінна кришка (рис. 1.7).

Корінні кришки виготовлені з алюмінієвого сплаву.

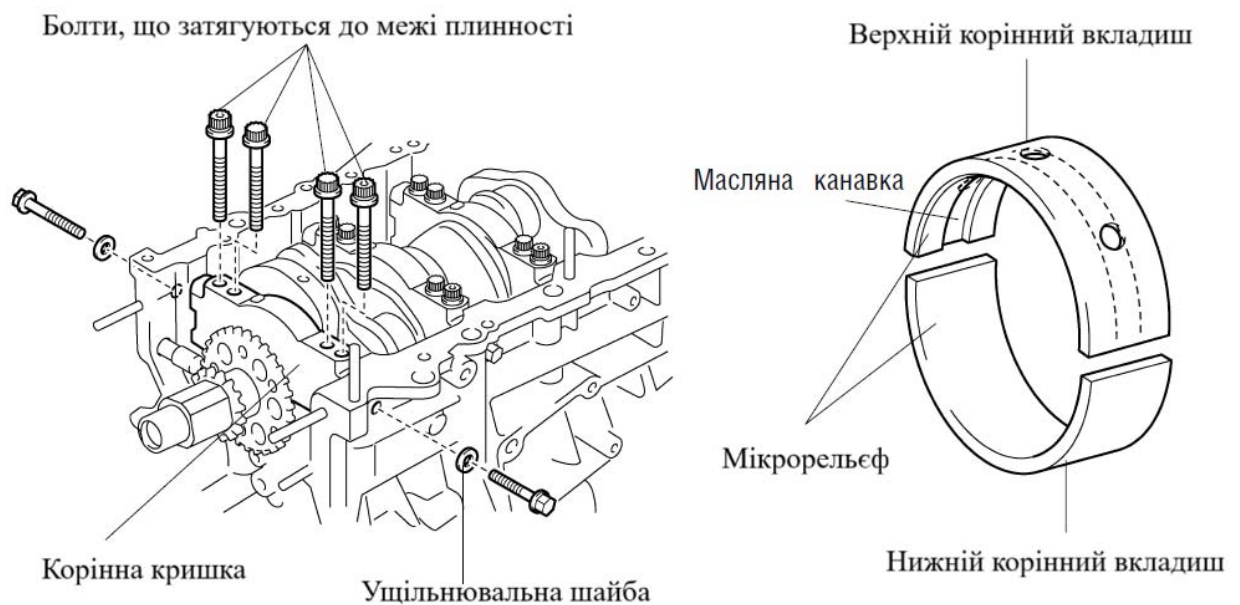


Рисунок 1.7 – Корінні вкладиші та корінна кришка

Як і на шатунних підшипниках, на поверхні тертя корінних вкладишів є мікроканавки для поліпшення умов створення масляної плівки. В результаті поліпшуються параметри холодного прокручування двигуна і зменшується тряска двигуна.

На робочій поверхні верхніх корінних вкладишів виконана масляна канавка. Кришки корінних підшипників закріплені 4 болтами, які тягнуться по межі плинності. Крім того, для підвищення надійності, кожна кришка закріплюється болтами (стяжними) в поперечному напрямку.

Клапанний механізм

На кожен циліндр припадає по 2 впускних і по 2 випускних клапани. За рахунок більшої площі отворів поліпшено наповнення і очищення циліндрів.

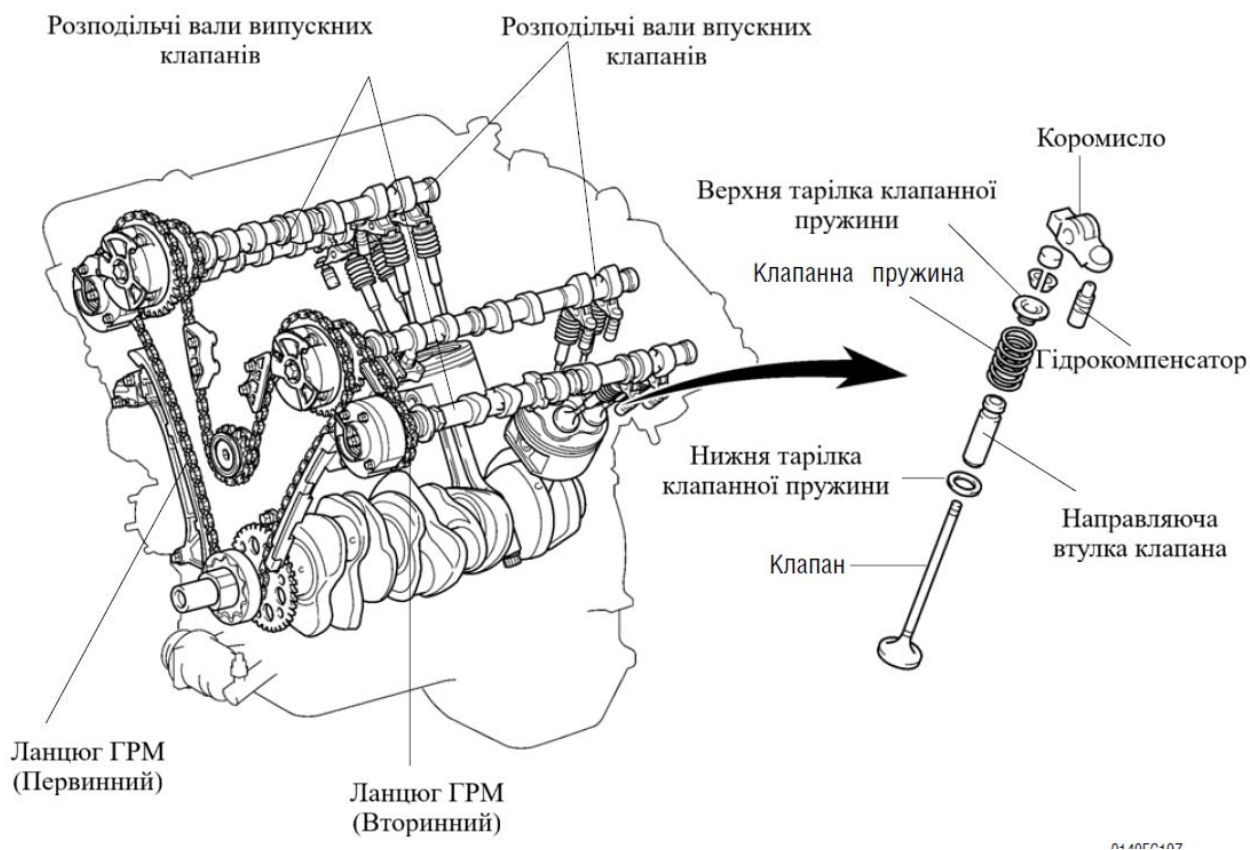


Рисунок 1.8 – Клапанний механізм

Клапани приводяться в дію роликовими коромислами з голчастими підшипниками. Це знижує тертя на кулачках розподільного вала і сприяє підвищенню паливної економичності.

У приводі клапанів використовуються гідравлічні компенсатори, які під дією тиску масла повністю вибирають зазор у приводі клапана.

Привід розподільних валів впускних клапанів здійснюється від колінчастого вала через первинний ланцюг приводу клапанного механізму. Привід розподільних валів випускних клапанів здійснюється від впускного розподільного вала відповідного ряду циліндрів через вторинний ланцюг приводу клапанного механізму.

Для оптимального регулювання фаз впуску і випуску використовується здвоєна система інтелектуального регулювання фаз газорозподілу (VVT-i). Використання описаної вище системи сприяє підвищенню економічності, потужності двигуна і зниженню викиду токсичних речовин.

Система змащування

Використовується система змащування (рис. 1.9) під тиском з повнопоточним масляним фільтром. У системі використовується масляний насос героторного типу.

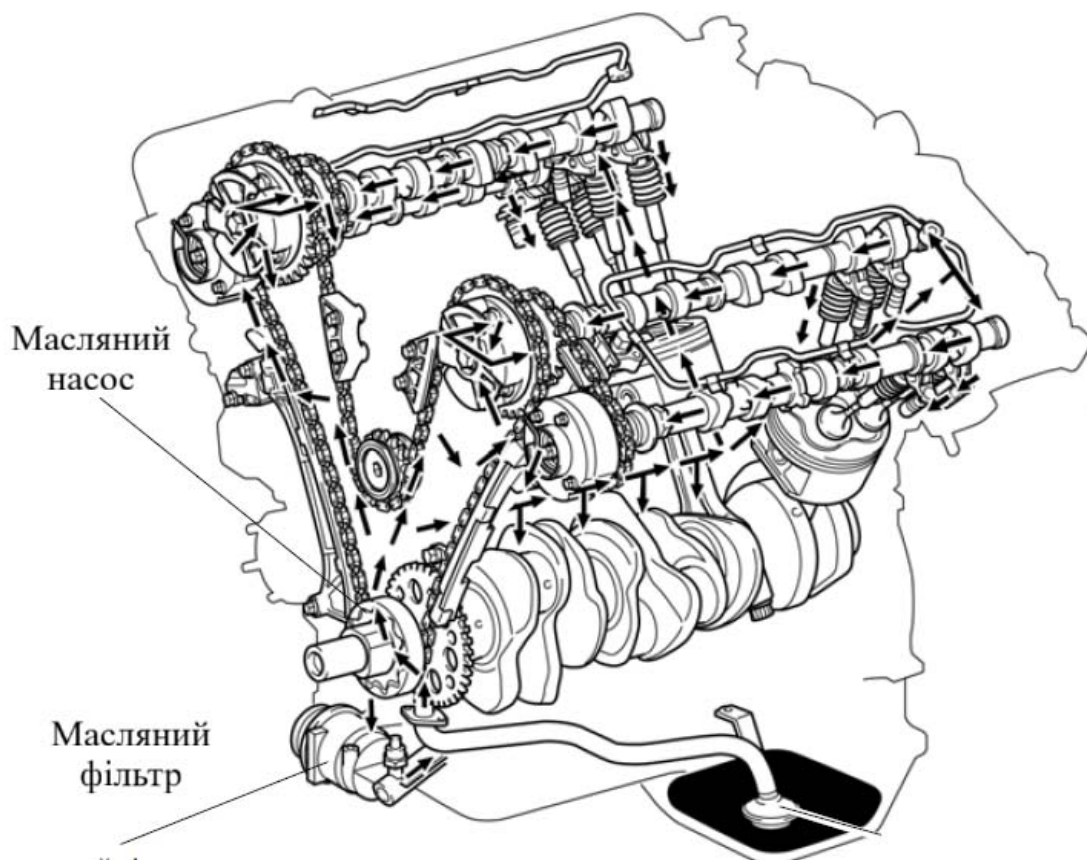


Рисунок 1.9 – Система змащування

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ

Аркуш

13

Для організації циркуляції масла застосовується компактний масляний насос з приводом від колінчастого вала. Для регулювання продуктивності масляного насоса використовується внутрішній перепуск. Регулювання продуктивності зводить до мінімуму коливання рівня масла в піддоні, знижує механічні втрати і спінювання.

Для охолодження і змащення поршнів в блоці циліндрів встановлені масляні жиклери, розташовані посередині лівого і правого рядів циліндрів.

У масляних форсунках встановлені зворотні клапани, що запобігають подачі масла при низькому тиску в системі. Таким чином, запобігається падіння тиску масла в двигуні.

У системі змащення використовується фільтр нової розробки зі змінним фільтруючим елементом. Для фільтруючого елемента застосовується спеціальний папір з високими фільтруючими показниками.

Для утилізації фільтруючий елемент можна спалювати. Для збільшення терміну служби фільтруючого елемента на корпус фільтра ставиться алюмінієва кришка. Щоб масло не розбризкувалося при заміні фільтруючого елемента, передбачена можливість зливу масла з корпусу фільтра. Злив відбувається при поєднанні прорізу в різьбі на кришці з прорізом в різьбі на корпусі фільтра.

Система охолодження закритого типу (рис. 1.10) з примусовою циркуляцією охолоджуючої рідини.

Розширювальний бачок має вільне сполучення з атмосферою. Для регулювання температури в системі охолодження у впускному патрубку охолоджуючої рідини встановлений термостат з перепускним клапаном.

Оптимальний режим роботи вентилятора системи охолодження вибирає і вмикає блок управління двигуном. Подробиці містяться на стор. EG76.

Застосовується охолоджуюча рідина TOYOTA Genuine SLIC (надтривалого терміну служби).

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

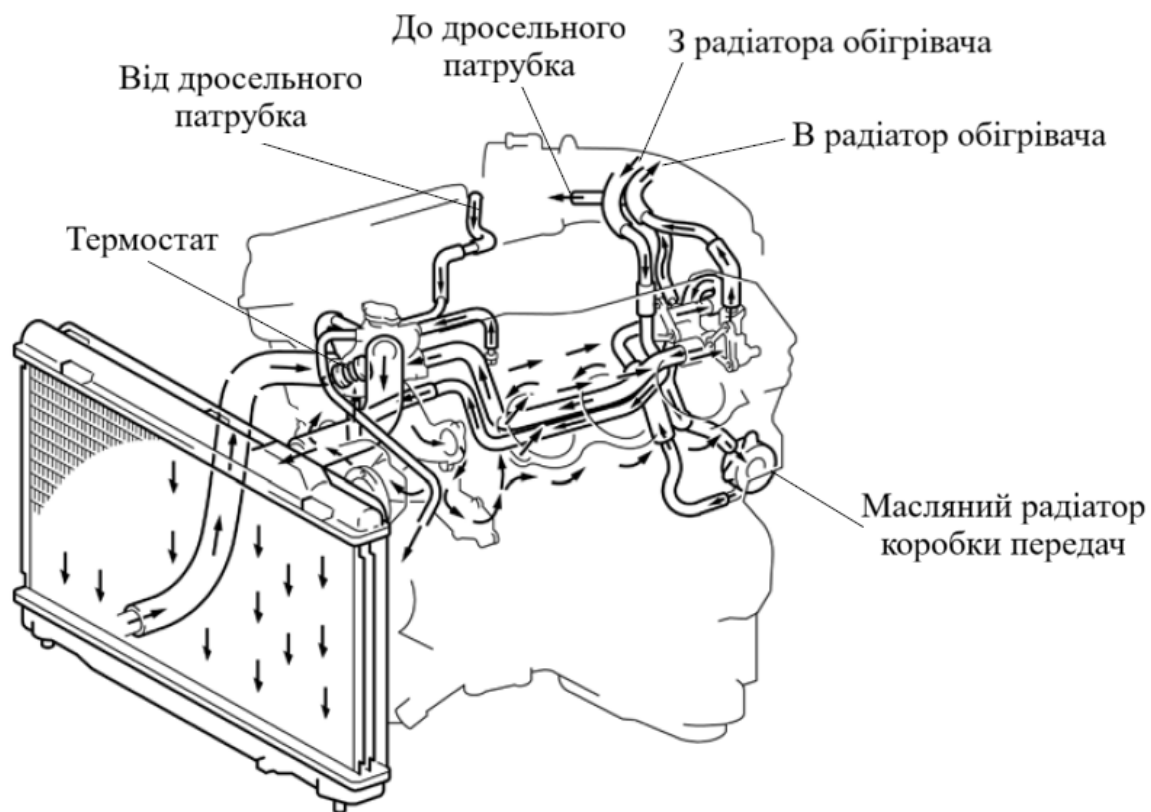


Рисунок 1.10 – Система охолодження

У насосі охолоджуючої рідини є дві раглики. Він забезпечує рівномірну циркуляцію охолоджуючої рідини в лівому і правому рядах блоку циліндрів.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Сучасний етап розвитку автомобільного транспорту характеризується одночасним посиленням вимог до економічності, екологічної чистоти та динамічних показників бензинових двигунів внутрішнього згоряння. Під впливом глобальних екологічних стандартів, обмеження викидів CO₂, NO_x та твердих частинок, а також необхідності забезпечення високої ефективності на тлі зменшення робочого об'єму двигуна, промисловість активно впроваджує нові технічні рішення. Аналіз сучасних способів підвищення ефективності та покращення робочих характеристик бензинових двигунів дає можливість зрозуміти напрям розвитку галузі, а також визначити найбільш перспективні технології, що мають стати базовими у наступні десятиліття [2].

Удосконалення систем упорскування палива

Удосконалення паливно-повітряного сумішоутворення залишається однією з найважливіших складових покращення роботи бензинових двигунів. Від якості підготовки суміші залежить повнота згоряння, рівень токсичності вихлопу, теплове навантаження деталей камери згоряння та економічність. Перехід від традиційних карбюраторних систем до електронного розподіленого впорскування (MPI) свого часу дозволив суттєво підвищити точність дозування палива. Проте подальший розвиток технологій привів до широкого впровадження систем безпосереднього впорскування бензину (GDI). Вони забезпечують більш точний контроль кількості та моменту подачі палива, дають можливість працювати на збіднених сумішах у часткових режимах та підвищують термічний ККД. Одним із напрямків удосконалення GDI-технології стало застосування багатоконтурних схем упорскування, у тому числі систем з двома форсунками – у впускному каналі та безпосередньо в циліндрі. Такий підхід дозволяє оптимізувати випаровування палива,

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

зменшити викиди твердих частинок та покращити контроль процесу сумішоутворення в різних режимах роботи.

Розподілене впорскування (MPI) – сучасні модифікації

Попри поширення GDI, технологія MPI все ще застосовується і вдосконалюється. Основні причини – стабільність згоряння, висока надійність та низькі викиди твердих частинок.

Сучасні системи MPI включають:

- високоточні електромагнітні форсунки з часом реакції 1–2 мс;
- багатоточкове розташування розпилювачів;
- оптимізовану геометрію впускного колектора;
- інтелектуальні алгоритми керування коефіцієнтом надлишку повітря λ у режимах часткового навантаження.

Поліпшення MPI дозволяє:

- зменшити детонаційну чутливість,
- покращити випаровування палива,
- знизити навантаження на каталітичний нейтралізатор,
- забезпечити стабільну роботу в холодних режимах.

Безпосереднє впорскування бензину (GDI)

У GDI паливо подається безпосередньо в камеру згоряння під тиском до 350–500 бар. Це надає низку переваг:

- висока точність дозування, що мінімізує втрати палива;
- охолодження заряду за рахунок випаровування палива → підвищення наповнення циліндрів;
- можливість реалізації різних режимів згоряння, включаючи стратифіковане.

Недоліком є утворення твердих частинок (сажі), що пов'язано з:

- недостатнім випаровуванням,
- локально збідненою сумішшю біля стінок циліндра,
- коротким часом змішування на високих обертах.

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

Комбіновані системи впорскування (Dual Injection)

Найсучасніший і найефективніший підхід – використання двох форсунок на циліндр:

- MPI → для формування однорідної суміші;
- GDI → для точного регулювання складу суміші та роботи під навантаженням.

Переваги:

- зменшення викидів твердих частинок до 70–90 %,
- покращення теплонавантаження стінок камери,
- мінімізація детонації у високофорсованих двигунах,
- можливість роботи на ультра-збіднених сумішах $\lambda = 2\text{--}2,5$.

Удосконалення процесів згоряння

Важливим шляхом підвищення ефективності бензинових двигунів є удосконалення процесів згоряння. Традиційні підходи, засновані на гомогенній суміші, поступово доповнюються стратифікованими режимами, які дозволяють підтримувати збіднені суміші навколо свічки запалювання при загальному зниженні коефіцієнта надлишку повітря. Активно досліджуються режими згоряння HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition), де займання суміші відбувається за рахунок самозаймання при високому тиску та температурі. Хоча стабільне керування таким процесом залишається складним завданням, потенційні переваги – зниження викидів NO_x та підвищення ефективності – роблять цей напрям привабливим для наукових досліджень. Іншим підходом є PPCI (Partially Premixed Compression Ignition), який поєднує ознаки дизельного та бензинового згоряння, забезпечуючи меншу токсичність та вищу економічність порівняно з традиційними режимами [3].

Стратифіковане (шарове) згоряння

Режим характерний для GDI, коли біля свічки формується збагачена суміш, а решта камери заповнена збідненою сумішшю.

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Переваги:

- значне зниження витрати палива,
- можливість роботи при малих навантаженнях без дроселювання,
- зменшення насосних втрат.

Виклики:

- складність керування формуванням паливного струменя,
- необхідність високошвидкісного запалювання,
- збільшене утворення частинок сажі.

HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition)

Режим самозаймання однорідної суміші при високому тиску та температурі.

Переваги:

- екстремально низькі викиди NO_x ,
- високий термічний ККД (до 50 %),
- відсутність локальних піків температури.

Проблеми:

- важко контролювати момент займання,
- вузький діапазон стабільної роботи,
- чутливість до октанового числа.

PPCI (Partially Premixed Compression Ignition)

Перехідна технологія між бензиновим і дизельним згорянням.

Особливості:

- паливо частково змішується з повітрям до займання,
- фронт полум'я розвивається повільніше.

Дозволяє:

- зменшити NO_x на 30–60 %,
- підвищити ефективність на середніх навантаженнях,
- працювати на альтернативних паливах.

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

Турбонаддув та Downsizing

Значний вплив на енергетичні та динамічні показники бензинових двигунів має застосування турбонаддуву, який сьогодні став стандартом для більшості сучасних силових агрегатів малої та середньої потужності. Турбонаддув дає змогу компенсувати зменшення робочого об'єму, що є характерним для тенденції downsizing. Завдяки цьому двигуни з малим робочим об'ємом здатні забезпечувати рівень потужності та крутного моменту, притаманний значно більшим атмосферним двигунам. Покращення конструкції турбокомпресорів, застосування підшипників кочення, зменшення інерційності ротора, впровадження системи twin-scroll та використання електричних турбонаддувних пристроїв дозволяють мінімізувати турбояму, забезпечити швидкий відгук двигуна та стабільну роботу в широкому діапазоні швидкостей обертання [4].

Концепція Downsizing

Мета – зменшення робочого об'єму при збереженні потужності за рахунок наддуву.

Це дозволяє:

- зменшити масу двигуна,
- зменшити механічні втрати,
- підвищити паливну економічність на 10–20 %.

Турбонаддув нового покоління

Сучасні турбіни мають:

- ротор масою 15–20 г,
- час розкрутки $< 0,3$ с,
- підшипники ковзання з DLC-покриттям,
- двоканальну конструкцію (twin-scroll).

Технологія e-turbo (електротурбіна):

- забезпечує наддув без турбоями,
- покращує перехідні режими,

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- дозволяє рекуперувати енергію вихлопних газів.

Системи регулювання газорозподілу (VVT, VVL)

Оптимізація газорозподільних механізмів також відіграє важливу роль у підвищенні продуктивності та економічності бензинових двигунів. Системи зміни фаз газорозподілу (VVT) дозволяють коригувати момент відкриття та закриття клапанів залежно від режиму роботи, забезпечуючи кращий наповнювальний процес та мінімізацію перехресних потоків. Розвитком цієї технології стали системи змінення висоти підйому клапанів (VVL), що дають змогу контролювати інтенсивність наповнення циліндрів без використання дросельної заслінки у часткових режимах. Комбіновані системи, що поєднують VVT і VVL, забезпечують ще більшу адаптивність та дозволяють підвищувати ефективність на всіх робочих діапазонах двигуна. Подальшим етапом розвитку вважають електромеханічні або електромагнітні приводи клапанів, які потенційно дозволяють повністю відмовитися від традиційних розподільних валів, проте такі технології поки що не досягли широкого серійного застосування через складність та високу вартість реалізації [5].

Змінні фази газорозподілу (VVT)

Регулюється момент відкриття/закриття клапанів.

Переваги:

- кращий наповнювальний процес,
- зменшення залишкових газів,
- оптимізація роботи на різних обертах.

VVT може змінювати:

- фазу на 40–70° КВ,
- тривалість відкриття.

Змінна висота підйому клапанів (VVL)

Без дроселя при часткових навантаженнях → зменшення насосних втрат.

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

Переваги:

- збільшення ККД на 5–7 %,
- покращення динаміки,
- зменшення викидів CO₂.

Електромагнітні клапани (Camless)

Найперспективніша технологія майбутнього:

- повна свобода у формуванні "профілю" руху клапана,
- можливість реалізувати будь-який цикл двигуна,
- мінімізація втрат на привід ГРМ.

Поки що обмеження:

- споживання енергії,
- складність охолодження приводу.

Удосконалення систем запалювання

Удосконалення систем запалювання також сприяє покращенню показників роботи бензинових двигунів. Сучасні системи із незалежними котушками запалювання, високоефективними свічками та інтелектуальними алгоритмами керування забезпечують оптимальний розвиток фронту полум'я та стабільність згоряння навіть при збіднених сумішах. Також досліджуються альтернативні методи запалювання, зокрема лазерне запалювання, мікрохвильові системи та плазмове запалювання, які потенційно здатні забезпечити швидше та рівномірніше займання суміші, зменшуючи викиди та підвищуючи термічний ККД.

Незалежні котушки запалювання (Coil-on-Plug)

Забезпечують високу енергію іскри та точний час її формування.

Плазмове запалювання

Формує плазмовий канал, що запалює збіднену суміш.

Переваги:

- можливість згоряння ультра-збіднених сумішей,
- швидший розвиток фронту полум'я.

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

Лазерне запалювання

Досліджується як заміна свічок.

Переваги:

- відсутність електродів → вищий ресурс,
- можливість багаторазового запалювання за цикл.

Інтелектуальні системи керування двигуном (ECU)

Електронні системи керування двигуном (ECU) набувають дедалі важливішого значення у забезпеченні високої ефективності роботи бензинового двигуна. Можливість обробки великої кількості даних у режимі реального часу, використання адаптивних алгоритмів, моделювання процесів згоряння та контроль роботи турбонаддуву дозволяють досягти максимальної точності в управлінні подачею палива, запалюванням та газорозподілом. Впровадження сенсорів високої чутливості, зокрема датчиків тиску у циліндрі, датчиків швидкості фронту полум'я, датчиків детонації нового покоління, дає змогу системам керування реалізувати алгоритми самонавчання та адаптації до умов експлуатації, як-от температури, якості палива, зношення деталей або зміни навантажувальних режимів [6].

Сучасний ECU використовує:

- моделі згоряння в реальному часі,
- картографування фаз ГРМ,
- прогнозування детонації,
- адаптивне керування турбіною.

Використання датчиків тиску у циліндрі дозволяє:

- будувати p – V діаграми у реальному часі,
- коригувати упорскування з точністю до 0,1 мг,
- контролювати швидкість зростання тиску.

Удосконалення конструкцій і матеріалів

Удосконалення матеріалів та конструкцій деталей двигуна також є вагомим чинником підвищення його ефективності. Використання жароміцних

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

та надлегких матеріалів, таких як алюмінієві сплави, композити, керамічні покриття циліндрів, дозволяє зменшити масу рухомих частин та підвищити довговічність двигуна. Застосування плазмового напилення у циліндрах, алмазоподібних покриттів (DLC) у елементах ГРМ та поршневій групі зменшує тертя та покращує тепловідведення. Усе це сприяє зниженню механічних втрат і підвищенню загальної ефективності двигуна, що є важливим у контексті посилення вимог до паливної економичності.

Зменшення тертя

Використовують:

- DLC-покриття на цапфах,
- графітові сплави у поршневих кільцях,
- плазмове напилення у циліндрах.

Результати:

- зниження механічних втрат до 30 %,
- покращення теплового режиму.

Легкі матеріали

Алюміній, магній, титан, композити:

- зменшення маси двигуна,
- покращення прискорювальних характеристик,
- зменшення інерційних сил у ЦПГ.

Системи очищення викидів і екологізація

Важливим напрямком удосконалення бензинових двигунів є зниження викидів шкідливих речовин. Сучасні каталізатори, фільтри твердих частинок для бензинових двигунів (GPF), системи EGR та трикомпонентні нейтралізатори дають змогу суттєво скоротити кількість NO_x, CO та незгорілих вуглеводнів у вихлопних газах. Водночас оптимізація процесу згоряння, точне керування фазами газорозподілу та впровадження високоточного впорскування дозволяють досягти екологічних норм без значного погіршення динамічних характеристик.

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

Бензиновий фільтр твердих частинок (GPF)

Затримує частинки діаметром < 23 нм.

Каталітичні нейтралізатори нового покоління

Використовують:

- платину,
- паладій,
- родій з наноструктурою.

Ефективність очищення $\rightarrow$ до 97–99 %.

Адаптація до альтернативних палив

Не можна оминати увагою і вплив альтернативних палив на роботу бензинових двигунів. Використання етанолу, біокомпонентів, синтетичних палив та перспективних е-фуелів змінює термодинамічні властивості суміші, що потребує адаптації системи впорскування, запалювання та керування двигуном. Сучасні тенденції свідчать про необхідність універсальності конструкції двигуна, його здатності працювати на різних видах палива без втрати ефективності. Це зумовлює проведення широких досліджень, спрямованих на пошук оптимальних режимів згоряння сумішей із різними октановими числами, теплотами згоряння та характеристиками випаровування.

Сучасні бензинові двигуни працюють на:

- E10, E15, E85,
- синтетичних е-фуелів,
- метанолі та метилетерах.

Наслідки:

- змінюється теплота згоряння,
- покращується антидетонаційна стійкість,
- потрібна адаптація системи впорскування.

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Проведений аналіз сучасних технологій підвищення ефективності бензинових автомобільних двигунів свідчить про багатовекторний розвиток галузі, спрямований на одночасне поліпшення економічності, екологічності та експлуатаційної надійності двигунів. Хоча значного прогресу досягнуто в удосконаленні турбонаддуву, газорозподільних механізмів, систем запалювання та електронного керування, саме технології формування паливно-повітряної суміші мають сьогодні вирішальне значення для підвищення загальної ефективності робочого процесу.

З огляду на зростання вимог щодо зниження викидів твердих частинок, NO_x та CO_2 , посилення норм токсичності, а також тенденції до downsizing, найбільш актуальним і технічно ефективним рішенням є використання комбінованих систем упорскування палива з двома форсунками на циліндр. Така архітектура поєднує переваги розподіленого та безпосереднього впорскування, забезпечуючи оптимальне сумішоутворення в усьому діапазоні режимів роботи двигуна [7].

Система з двома форсунками дозволяє:

- зменшити викиди твердих частинок на 70...90 %, компенсуючи недоліки традиційного GDI;
- підвищити детонаційну стійкість двигуна за рахунок кращого охолодження заряду та рівномірнішого розподілу палива;
- розширити діапазон стабільної роботи на збіднених сумішах, що безпосередньо підвищує паливну економічність;
- забезпечити гнучке керування процесами згоряння за допомогою ECU, враховуючи навантаження, температуру та динамічні умови;
- покращити холодний пуск, перехідні режими та динамічну реакцію двигуна, що суттєво підвищує комфорт і надійність експлуатації.

Таким чином, серед усіх сучасних технологічних рішень найвищий потенціал для практичного застосування і перспективного розвитку має саме комбінована система впорскування з двома форсунками. Вона забезпечує

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

комплексне покращення екологічних, динамічних і економічних показників без суттєвого ускладнення конструкції двигуна та може бути адаптована як у нових силових агрегатах, так і при модернізації існуючих. Це робить двофорсуночні системи впорскування ключовим напрямом подальшої еволюції бензинових двигунів внутрішнього згорання.

В кваліфікаційній роботі буде аналізуватись ефективність застосування саме такої комбінованої системи.

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

РОЗДІЛ 3
ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДВОХ
ФОРСУНОК У ДВИГУНІ 6Ч 8,3/7,7 (TOYOTA 4GR-FSE)

Тепловий розрахунок двигуна 6Ч 8,3/7,7 (TOYOTA 4GR-FSE)

Параметр	Значення
<i>Вихідні дані</i>	
Діаметр циліндра, м	0,083
Хід поршня, м	0,077
Частота обертання, хв ⁻¹	6400
Тактність	0,5
Число циліндрів	6
Тиск наддуву, МПа	0,1013
Тиск навколишнього середовища, МПа	0,1013
Температура навколишнього середовища, К	303
Показник політропи стиснення в компресорі	1,0
Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння	0,96
Коефіцієнт використання тепла в точці z	0,9
Коефіцієнт використання тепла в точці b	0,92
Ступінь стиснення	12
Відношення середньої ізобарної теплоємності ВГ та свіжого заряду	1,15
Підігрів заряду від стінок циліндра	20
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	0,96
Коефіцієнт втрати тиску у впускному колекторі	0,96
Механічний ККД двигуна	0,8
Втрата тиску в повітроохолоджувачі, МПа	0,005
Температура залишкових газів, К	700
Нижча теплота згоряння палива, кДж/кг	43960

Коефіцієнт дозарядки	1,04
Коефіцієнт продувки	0,25
Тиск в випускному колекторі, МПа	0,11
Вуглець С, %	0,855
Водень Н ₂ , %	0,145
Температура відхідних газів, К	700
<i>Розрахунок процесу наповнення</i>	
Температура повітря за компресором, К	303,000
Температура повітря в точці а, К	328,119
Тиск повітря в точці а, МПа	0,097
Коефіцієнт наповнення	0,995
Коефіцієнт залишкових газів	0,0107
<i>Розрахунок процесу стиснення</i>	
Теплоємність робочого тіла в точці с, кДж/(кмольК)	21,608
Середній показник політропи стиснення	1,375
Тиск наприкінці стиснення, МПа	2,962
Температура наприкінці стиснення, К	832,902
<i>Розрахунок процесу згоряння</i>	
Стехіометричне співвідношення	0,512
Кількість свіжого повітря, кмоль/кг	0,500
Кількість робочого тіла після процесу <u>сгоряння</u> , кмоль/кг	0,532
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	1,064
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	1,063
Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z	1,061
Максимальна температура згоряння, К	2946
Максимальний тиск згоряння, МПа	11,112
Ступінь підвищення тиску при згорянні	3,755

<i>Розрахунок процесу розширення</i>	
Середній показник політропи розширення	1,235
Температура наприкінці процесу розширення, К	980,102
Тиск наприкінці процесу розширення, МПа	0,879
<i>Індикаторні показники</i>	
Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа	1,467
Дійсний середній індикаторний тиск, МПа	1,408
Індикаторний ККД	0,4
Індикаторна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	0,205
<i>Ефективні показники</i>	
Середній ефективний тиск, МПа	1,126
Ефективний ККД двигуна	0,32
Ефективна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	0,256
Ефективна потужність двигуна, кВт	150,28

Аналіз ефективності використання двох форсунок у двигуні 6Ч 8,3/7,7 (TOYOTA 4GR-FSE)

На рис. 3.1 представлений вид спереду двигуна 6Ч 8,3/7,7 (TOYOTA 4GR-FSE) з впорскування палива двома форсунками. Рис. 3.2 показує розміщення паливних форсунок у двигуні.

Як показано на рис. 3.1 і рис. 3.2, форсунка 15 упорскування в циліндр закріплена в нижній частині внутрішнього боку V-подібного ряду на головці 6 циліндрів. У даній компоновці форсунка 15 розташована під частиною 17 з'єднання зі впускною трубою (стілкою впускного каналу), яка виступає у бік від головки 6 (див. рис. 3.1, рис. 3.2, якщо дивитися вздовж осі колінчастого вала 27). Корпус форсунки 15 входить у головку 6 циліндрів під похилим кутом догори, при цьому її вісь проходить майже паралельно нижній поверхні частини 17 з'єднання зі впускною трубою. Таким чином, форсунка 15

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

розміщується у внутрішньому просторі 81, обмеженому впускним проходом першого ряду циліндрів 2 та впускним проходом другого ряду циліндрів 3. На рис. 3.1 і рис. 3.2 циліндровий отвір позначено позицією 32, а поршні – позицією 34.

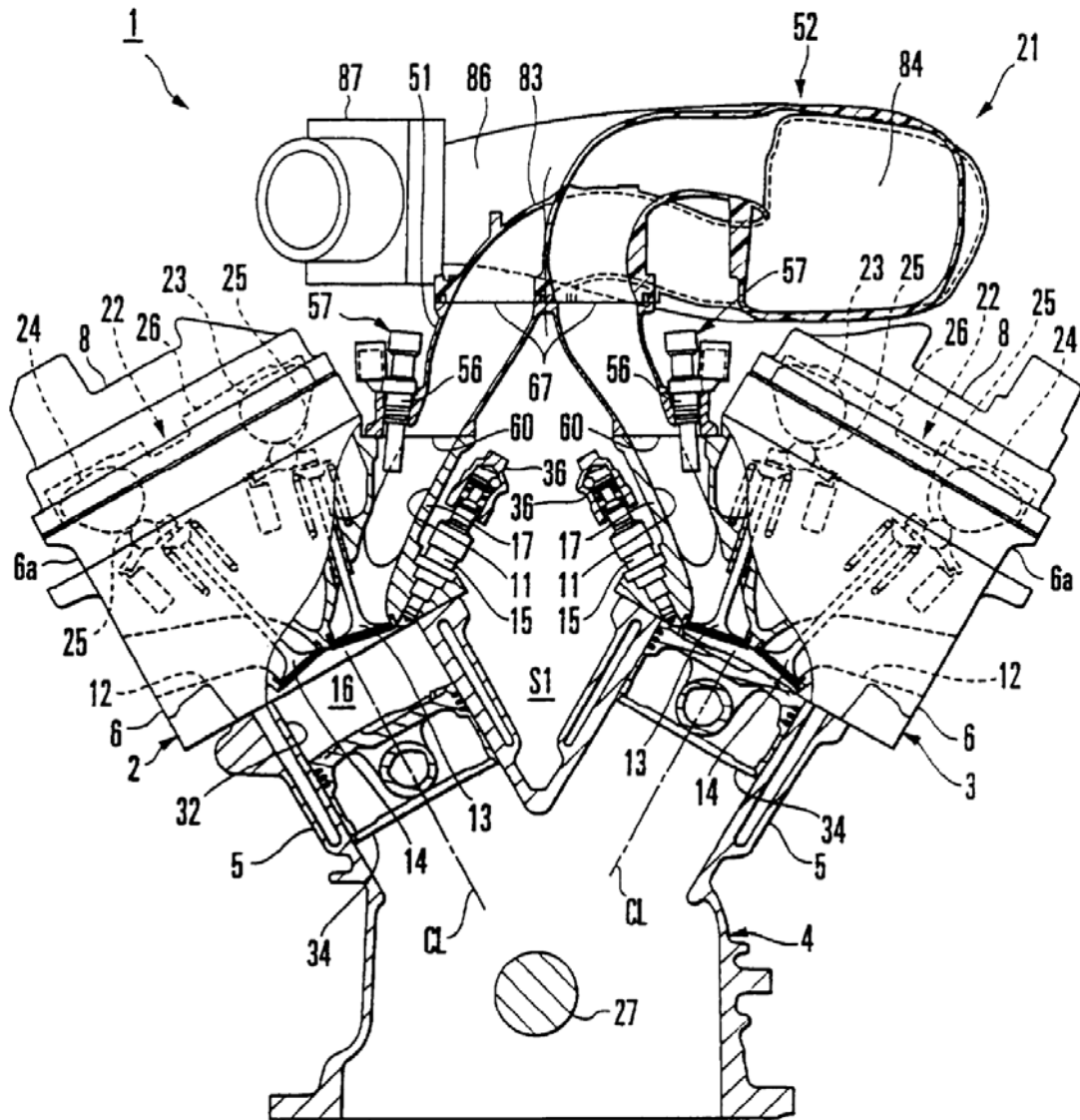


Рисунок 3.1 – Вид спереду двигуна 6Ч 8,3/7,7 (TOYOTA 4GR-FSE) з впорскування палива двома форсунками

У роботі двигуна 1 форсунка 15 упорскування в циліндр використовується переважно в режимах високих обертів і підвищених навантажень, тобто коли потрібна інтенсивніша та точніша подача палива безпосередньо в циліндр. Керування моментом упорскування для форсунки 15

налаштовується таким чином, щоб упорскування відбувалося впродовж такту впуску, що покращує формування паливо-повітряної суміші в циліндровому отворі 32.

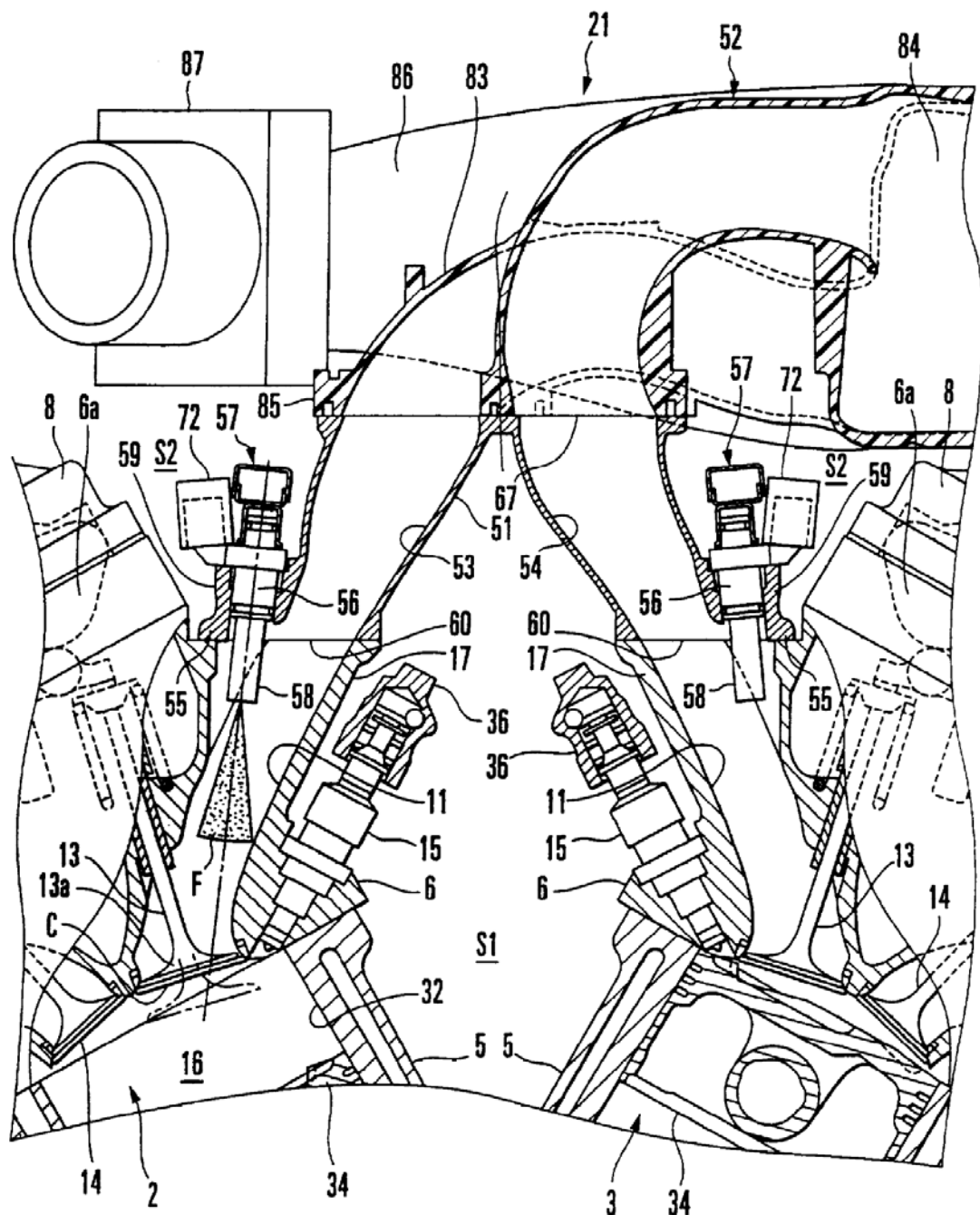


Рисунок 3.2 – Розміщення паливних форсунок у двигуні

Подача палива до форсунки 15 здійснюється через нагнітальну трубку 36 високого тиску, яка в цій конструкції виконує роль першої нагнітальної магістралі. Трубка 36 закріплена у верхній частині форсунки 15 і прокладена

вздовж осі колінчастого вала 27 (див. рис. 3.4). Для кожного ряду циліндрів 2 і 3 передбачено свою нагнітальну трубку 36 високого тиску. Кожна така трубка жорстко фіксується на верхньому кінці форсунки 15 без можливості її демонтажу під час штатної експлуатації та додатково підтримується конструкцією головки 6 циліндрів, що зменшує вібраційні навантаження на паливну магістраль.

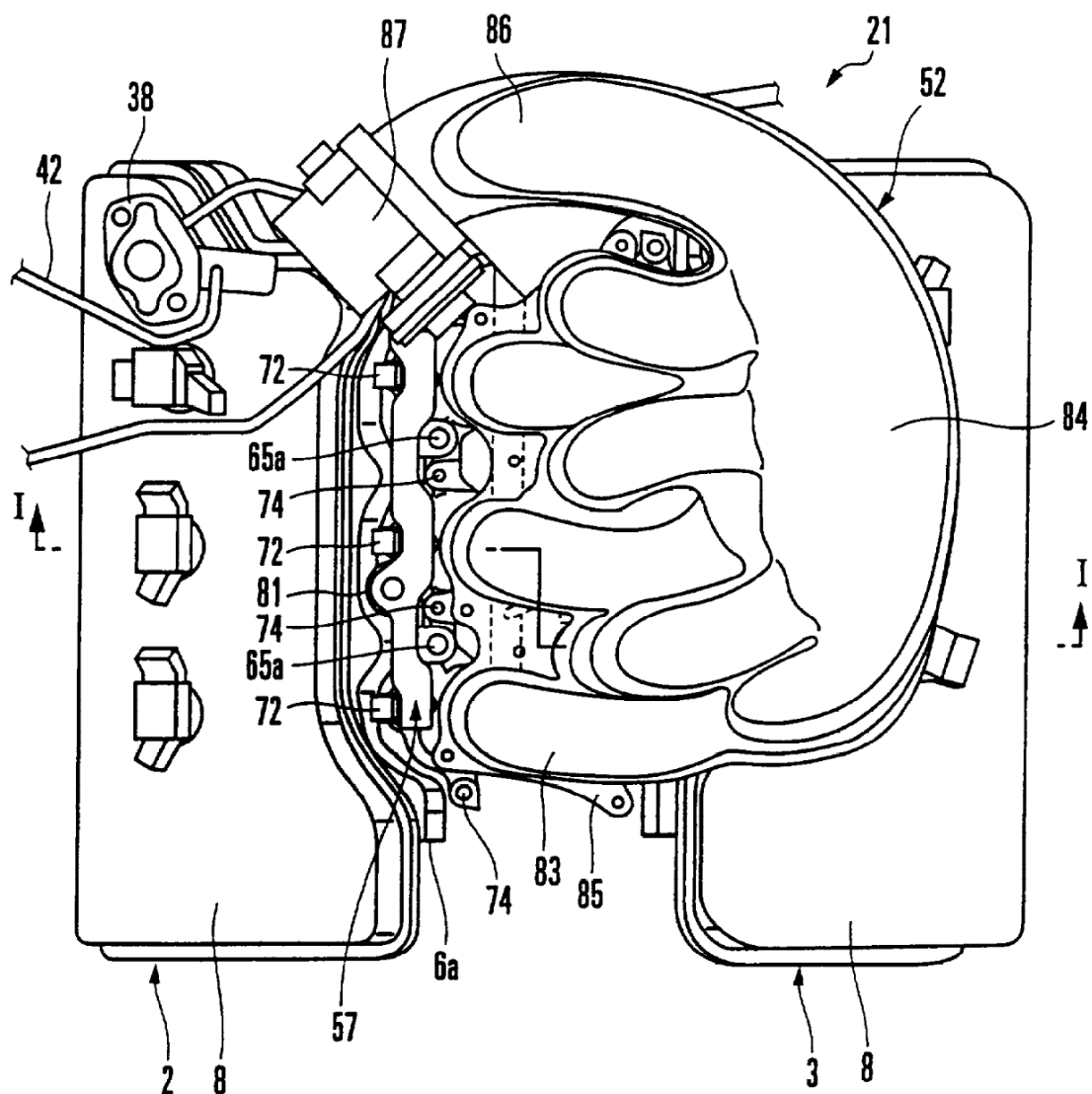


Рисунок 3.3 – Розміщення паливних форсунок у двигуні. Вид зверху №1

Як видно на рис. 3.4, один з кінців нагнітальної трубки 36 високого тиску на стороні першого ряду циліндрів 2 (верхня сторона на фігурі) з'єднаний із паливним насосом 38 високого тиску через паливопровід 37. Інший кінець цієї трубки 36 на стороні першого ряду циліндрів 2 з'єднано із

кінцем нагнітальної трубки 36 високого тиску на стороні другого ряду циліндрів 3 за допомогою з'єднувальної трубки 39. Один із кінців трубки 41 зворотного палива під'єднаний до верхнього кінця нагнітальної трубки 36 високого тиску на стороні другого ряду циліндрів 3 через запобіжний клапан 40. Другий кінець трубки 41 зворотного палива повертає паливо назад у паливний бак (бак на схемах не показано).

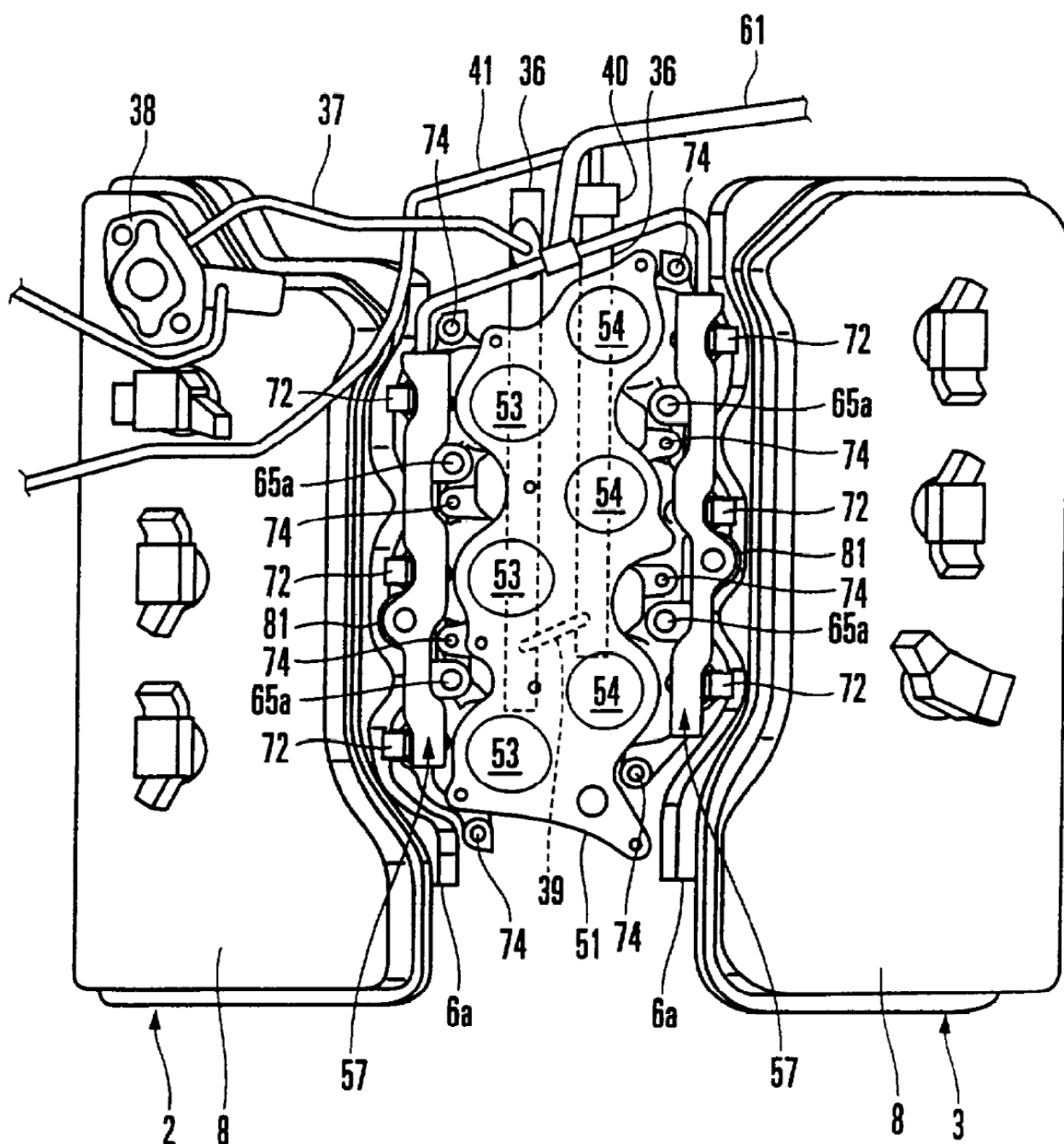


Рисунок 3.4 – Розміщення паливних форсунок у двигуні. Вид зверху №2

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.07.00.ПЗ

Аркуш

34

Паливний насос 38 високого тиску забирає паливо з впускного паливопроводу 42, підвищує його тиск до рівня, достатнього для подачі у форсунку 15 уприскування в циліндр, і прокачує його далі в нагнітальні трубки 36 високого тиску. У свою чергу паливо у впускний паливопровід 42 подається з паливного бака підживлювальним насосом (на схемі не показаний). У розглянутій реалізації насос 38 високого тиску встановлений на кришці 8 першого ряду циліндрів 2 (див. рис. 3.4) і приводиться в дію вихідним кулачковим валом 24 цього ряду циліндрів. Така компоновка дозволяє жорстко пов'язати моменти подачі палива з фазами роботи циліндрів і мінімізувати довжину високонапірних паливопроводів 36.

У представленій конструкції впускна система двигуна реалізована у вигляді двокомпонентного впускного колектора 21 (див. рис. 3.1, рис. 3.3). На нижньому рівні, безпосередньо на частині 17 з'єднання зі впускною трубою головки 6 циліндрів, розміщується допоміжний впускний колектор 51. Над ним, на його верхньому торці, встановлюється з можливістю демонтажу основний впускний колектор 52. Таке компонування дозволяє розділити функції впускної системи: нижня секція 51 забезпечує підведення повітря до каналів 11 обох рядів циліндрів 2 і 3, тоді як верхня секція 52 працює як повітрозбірник та розподільчий елемент.

Як показано на рис. 3.1, ряди циліндрів 2 і 3 збудовані у формі V-структури, тому впускні проходи 53 і 54 допоміжного колектора 51 розташовані таким чином, щоб безпосередньо з'єднуватися з відповідними впускними каналами 11 кожного ряду без зміни їхньої геометрії. Проходи 53 (для ряду 2) і 54 (для ряду 3) мають похиле спрямування вгору, а їхній внутрішній діаметр збільшується у напрямку подачі повітря, що покращує наповнення і зменшує втрати тиску. На рис. 3.2, 3.5 та 3.6 добре видно, як обидві групи проходів інтегровані у литий алюмінієвий корпус допоміжного колектора 51.

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

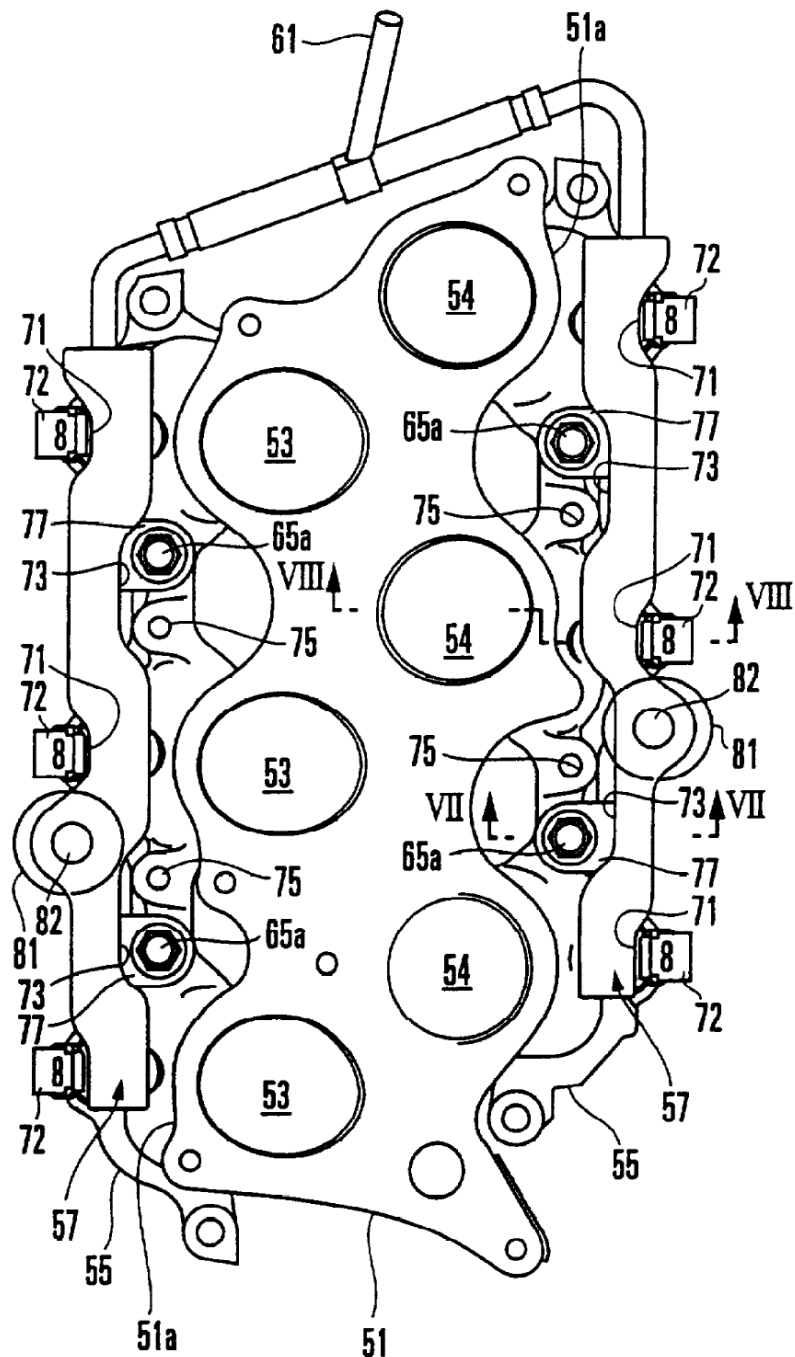


Рисунок 3.5 – Вид зверху допоміжного впускного колектора

Нижня частина колектора 51 завершується монолітним з'єднувальним фланцем 55 (див. рис. 3.2, рис. 3.5, рис. 3.6), який виконує подвійну функцію: по-перше, він є опорною поверхнею для кріплення колектора 51 до частини 17 головки 6; по-друге, саме на цьому фланці змонтовано форсунку 56 уприскування у впускний канал разом із нагнітальною трубкою 57 низького тиску.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ

Аркуш

36

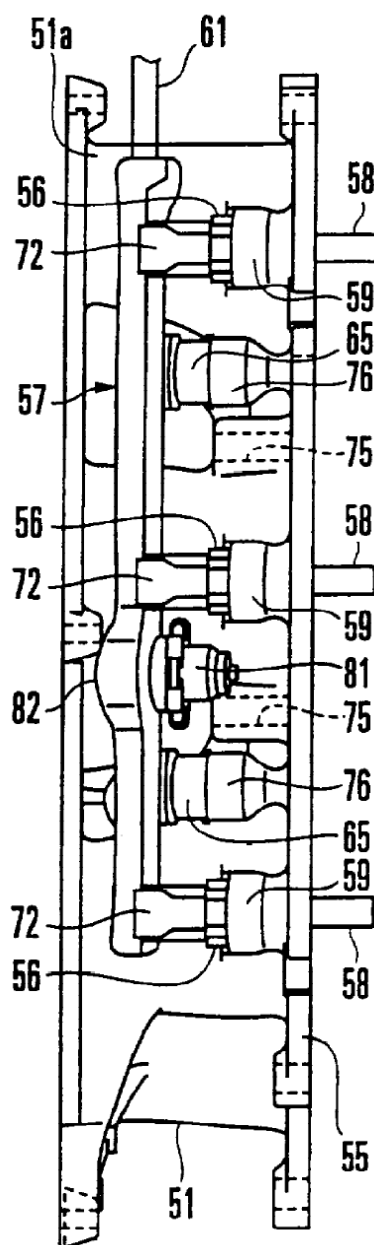


Рисунок 3.6 – Вид збоку допоміжного впускного колектора

На рис. 3.2 показано, що форсунка 56 має нижню ділянку 58, через яку подається паливо, а верхньою частиною приєднується до трубки 57. Конструктивно форсунка містить центральну частину у вигляді валика 56а, який вставляється у кріпильний отвір 59а сідла 59 на фланці 55. Вище розташована фланцева частина 56b, що виступає назовні і служить упорною поверхнею при монтажі (див. рис. 3.8). Для герметизації зазору між валиком 56а і отвором 59а передбачено кільцеве ущільнення 56с.

Форсунка 56 та трубка 57 обладнані додатковим вирівнювальним пристроєм (на схемах не показано), призначеним для точного встановлення форсунки у напрямку обертання навколо її осі. Це важливо для забезпечення правильного розташування вихідного отвору 58 та узгодження геометрії форсунки 56 з орієнтацією трубки 57. Вирівнювальний механізм гарантує, що форсунка при монтажі займає фіксоване положення відносно всієї системи впуску і паливоподачі.

У конструкції впускної системи форсунка 56 упорскування у впускний канал монтується на фланці 55 окремо від нагнітальної трубки 57 низького тиску. Процес встановлення виконується у кілька етапів (див. рис. 3.2).

Спершу ділянку 58, через яку здійснюється впорскування палива, вводять зверху в кріпильний отвір 59а на фланці 55. Одночасно з цим у той самий отвір заходить валик 56а, що центрує форсунку відносно сидла 59. Далі фланцева полиця 56b упирається у верхню площину сидла 59, забезпечуючи точну посадку і фіксацію по висоті. У такому положенні на верхній кінець форсунки встановлюють нагнітальну трубку 57 низького тиску, після чого використовують вирівнювальний механізм (не показаний), який задає правильну орієнтацію форсунки у напрямку її осьового обертання. Це необхідно для точного позиціонування форсуночного отвору відносно впускного каналу 11.

Після монтажу трубки 57 і її кріплення до допоміжного колектора 51 форсунка 56 остаточно фіксується у сидлі 59 так, щоб її корпус був притиснутий зверху до фланця 55.

У роботі двигуна така форсунка 56 використовується переважно на малих і середніх обертах, коли необхідна додаткова подача палива у впускний канал 11 для покращення утворення суміші.

Як видно на рис. 3.2, сидло 59 розміщується поруч із поверхнею 60 стикування колектора 51 з головою 6, на тій частині, що ближча до кулачкового корпусу 6а. У встановленому стані форсунка 56 підтримується

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

допоміжним колектором 51 та розташована безпосередньо над впускним каналом 11, при цьому займаючи місце у внутрішньому просторі S2 між колектором 51, корпусом 6а та кришками 8 (див. рис. 3.1). Зверху вона перекриває зону розташування форсунки 15 упорскування у циліндр.

Ділянка 58 виступає вниз від площини 60 настільки, щоб її кінець знаходився навпроти входу у впускний канал 11. Геометрія виконана так, що відстань від форсуночного отвору до центру С робочої поверхні клапанів 13а становить 80–120 мм, що дозволяє сформувати факел впорскування у вигляді конуса з орієнтацією на центр клапана 13 (див. рис. 3.2).

Нагнітальна трубка 57 низького тиску прокладена вздовж осі колінчастого вала 27 (див. рис. 3.4, 5) і підключена до паливопроводу 61, що отримує паливо від підживлювального насоса у баку. Така компоновка мінімізує довжину підвідних магістралей і спрощує монтаж у зоні між рядами циліндрів 2 і 3.

Конструкція нагнітальної трубки 57 низького тиску складається з трьох основних елементів: верхнього профільованого каналу 62, нижнього закривального елемента 63 та вертикальних з'єднувальних відводів 64 (див. рис. 3.2, рис. 3.8). Профіль верхнього елемента 62 виконаний у формі перевернутої літери U, що дозволяє розмістити всередині нього головний паливний канал, тоді як нижній елемент 63 закриває його знизу.

Відводи 64 опускаються до верхніх частин форсунок 56 упорскування у впускний канал, забезпечуючи подачу палива у необхідні точки системи. У зібраному стані трубка 57 спирається на фланець 55 допоміжного впускного колектора 51 через пару ізоляторів 65 (див. рис. 3.7), які одночасно виконують роль антивібраційних опор.

На рис. 3.6 можна бачити, що елементи 62 і 63 майже не виступають за межі вертикального профілю, а розгорнуті у горизонтальному напрямку (на зображенні позначений як вертикальний), тобто перпендикулярно осям форсунок 56. На рис. 3.5 показано, що траса трубки має хвилясту форму:

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

частини, які підходять ближче до поверхні 51а колектора 51, чергуються з ділянками, зміщеними від неї.

Кожний з'єднувальний елемент 64 приварено до нижнього боку відповідної хвилі трубки 57. Через те, що канал у трубці 57 є спільним і безперервним, паливо надходить у внутрішній об'єм елемента 64 і вже через нього – до форсунки 56. На рис. 3.8 показано, що елемент 64 має вигляд відкритого вниз циліндра. Верхній кінець форсунки 56 входить у нього з невеликим зазором, який герметизується кільцевим ущільненням 66.

Установлена трубка 57 розташована нижче стикованої площини 67 між колекторами 51 і 52 (див. рис. 3.1, 2, 6). Це рішення дозволило розмістити систему паливоподачі у вужчому просторі між рядами циліндрів 2 і 3, не збільшуючи вищу габаритну висоту двигуна.

Зі сторони, відверненої від поверхні 51а допоміжного колектора 51 (див. рис. 3.5), на трубці 57 виконано спеціальні заглиблення 71. У цих заглибленнях розташовані штуцери 72 форсунок 56, причому їх висотне положення вирівняне – на рис. 3.6 видно, що всі штуцери перебувають на одній рівневій лінії. Така компоновка спрощує монтаж форсунок та забезпечує рівномірність геометричної прив'язки.

На тих ділянках нагнітальної трубки 57 низького тиску, які віддалені від поверхні 51а бічної стінки допоміжного впускного колектора 51, передбачені спеціальні заглиблення 73 (див. рис. 3.5). Вони розташовані з протилежного боку від поверхні 51а, і між кожним заглибленням 73 та цією поверхнею утворюється простір, у якому встановлюються два елементи: кріпильний болт 65а (див. рис. 3.7) та отвір 75 під інший кріпильний болт 74 (див. рис. 3.4). Болт 65а фіксує нагнітальну трубку 57 на фланці 55 через ізолятор 65, тоді як болт 74 використовується для кріплення самого допоміжного колектора 51 до головки 6 циліндрів.

Ізолятор 65, показаний на рис. 3.7, є теплозахисним елементом циліндричної форми, який встановлюється в сидло 76 фланця 55 та

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

закріплюється болтом 65а. На його верхній частині 78 закріплено пластинчастий кронштейн 77: один його кінець приварений до нагнітальної трубки 57, тому ізолятор 65 фактично несе на собі частину ваги та навантаження трубки. Матеріал ізолятора – полімер на основі фенольної смоли, що дозволяє мінімізувати теплопередачу від головки блока до паливної магістралі. Кронштейн 77 при цьому фіксується під головкою болта 65а без можливості зняття.

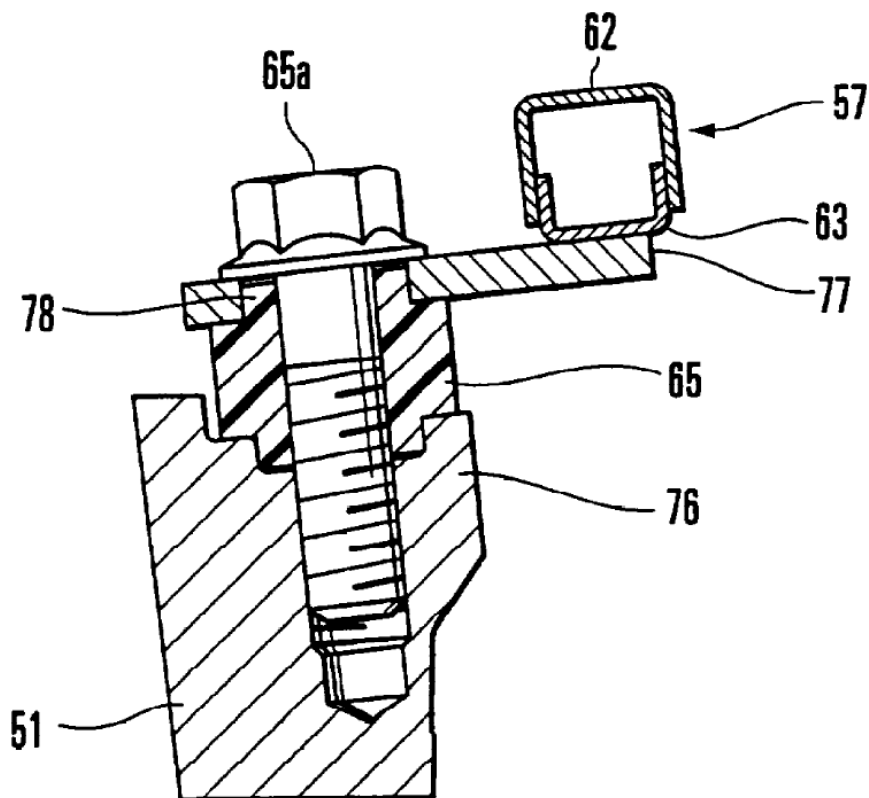


Рисунок 3.7 – Розріз по лінії VII-VII (рис. 3.5)

У конструкції передбачено два місця, де нагнітальна трубка 57 відходить від поверхні 51а. На одному з них знизу встановлено амортизатор 81 пульсацій (рис. 3.5, 6), який гасить коливання тиску палива в магістралі низького тиску. Амортизатор кріпиться до нижнього елемента 63 трубки 57. Над ним, на верхньому елементі 62, виконано потовщення 82, яке виступає вгору вище інших ділянок. Це потовщення не дає амортизатору 81 торкатися верхнього елемента 62, забезпечуючи його правильне положення та роботу.

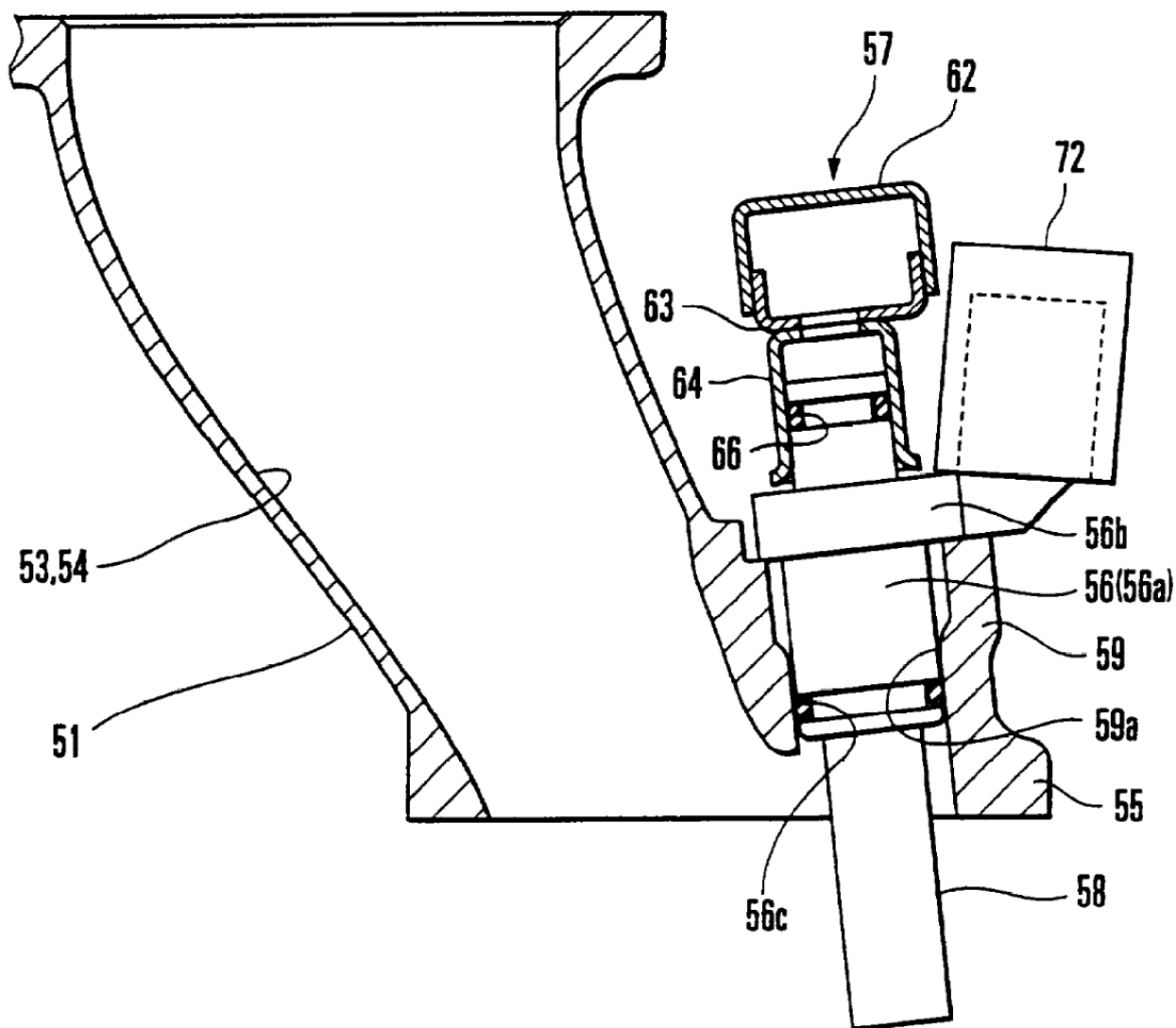


Рисунок 3.8 – Розріз по лінії VIII-VIII (рис. 3.5)

Як видно на рис. 3.1 і 3, основний впускний колектор 52 має трубчатий канал 83, який разом із каналами 53 та 54 допоміжного колектора 51 утворює повні впускні проходи до кожного циліндра. На вході до трубчатого каналу 83 знаходиться урівнювальний резервуар 84, який вирівнює потік та розподіляє повітря між циліндрами. Колектор 52 виготовлений зі зварювання трьох пластикових деталей методом вібросварювання, що дозволило надати йому складну форму та забезпечити міцність конструкції.

Як показано на рис. 3.1, трубчатий канал 83 розташований всередині V-подібної структури між рядами циліндрів 2 і 3 та проходить уздовж осі колінчастого вала 27. На вихідному його кінці передбачено фланець 85 (див.

рис. 3.2, 3), який геометрично відповідає верхній поверхні допоміжного колектора 51, завдяки чому секції 51 і 52 легко та точно стикуються між собою.

Трубчатий канал 83 простягається над другим рядом циліндрів 3 (рис. 3.1) і повністю перекриває верхню частину внутрішнього простору S2 – тієї зони, де під ним розташовані форсунки 56 упорскування у впускний канал з боку ряду 3.

На рис. 3.1 і 3 видно, що резервуар 84 знаходиться над кришкою 8 ряду 3. На одному з його кінців (верхня частина на рис. 3.3) розташовано підвідний повітропровід 86, який проходить у напрямку першого ряду циліндрів 2. На дальньому кінці цього підвідного каналу встановлено дросельну заслінку 87, що регулює кількість повітря, яке надходить у впускний тракт двигуна.

Таким чином, резервуар 84 працює як буфер для вирівнювання пульсацій повітряного потоку та одночасно як вузол, у який інтегровано впускний канал 86 з дросельною заслінкою 87.

Потік повітря, що проходить через дросельну заслінку 87, далі рухається єдиним впускним трактом, який формується послідовністю елементів: внутрішнім об'ємом підвідного повітропроводу 86, урівнювальним резервуаром 84, трубчатим каналом 83 основного впускного колектора 52, впускними проходами 53 та 54 допоміжного колектора 51 і впускним каналом 11, після чого надходить у камеру згоряння 16. Геометрія такого тракту цілеспрямовано виконана без будь-яких заслінок або клапанів, які могли б штучно створювати вихревий чи турбулентний рух повітря. Впускний канал 11 є так званим «високопродуктивним», тобто має мінімальний опір і не містить елементів, що змінюють напрямок або структуру потоку. Усе формування газодинаміки відбувається природним чином завдяки вигнутому профілю проходів 53 і 54 та геометрії резервуару 84, що дозволяє отримати необхідну інтенсивність завихрення та турбулентності без ускладнення конструкції. У наведеному виконанні двигуна 1 усі елементи системи

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

упорскування у впускний тракт – а саме форсунки 56 та нагнітальні трубки 57 низького тиску – встановлені і підтримуються допоміжним впускним колектором 51, який відіграє роль монтажної платформи, забезпечуючи точну фіксацію і взаємне позиціонування компонентів. Це дає можливість зібрати весь вузол упорскування у впускний канал як окрему конструкцію ще до встановлення впускного колектора 21 на двигун. Завдяки цьому монтаж на двигуні 1 зводиться до мінімальних операцій, а технічне обслуговування спрощується настільки, що для доступу до форсунок 56 та трубок 57 достатньо просто демонтувати впускний колектор 21. Подібний підхід дозволяє проводити діагностику і перевірку герметичності усієї паливної схеми низького тиску поза двигуном, не взаємодіючи з іншими системами, що значно скорочує час обслуговування і спрощує технологію ремонту.

Особливу увагу в конструкції приділено просторовому розміщенню форсунок 15 та 56. Вони встановлені у різних зонах впускного каналу, причому форсунки 15 прямого упорскування знаходяться нижче, ближче до камери згоряння 16, тоді як форсунки 56 упорскування у впускний канал розташовані над ними, у просторі S2, обмеженому допоміжним колектором 51, кулачковим корпусом 6а та кришками 8. Таке вертикальне та горизонтальне розділення дозволило уникнути взаємного перекриття та теплового впливу між системами, а також забезпечило можливість безперешкодного обслуговування кожної з них окремо.

Опора форсунок 56 та трубок 57 на один і той самий колектор 51 гарантує точне суміщення їхніх осей. Встановлення нагнітальних трубок 57 низького тиску у фіксованому положенні дає можливість забезпечити ідеальне потрапляння їхніх з'єднувальних елементів 64 на верхні кінці форсунок 56 без перекосів, що критично важливо для стабільності факела впорскування. Це особливо актуально у двофорсуночних системах, де точність взаємного розташування компонентів прямо впливає на сталість співвідношення подачі палива між циліндрами і розподіл суміші у впускному тракті.

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

Оскільки вся система встановлюється як єдиний вузол, у користувача з'являється можливість повністю протестувати герметичність, рівномірність подачі та правильність розподілу палива ще до монтажу на двигун 1. Відсутність необхідності взаємодіяти з іншими компонентами спрощує проведення цих процедур. Крім того, конструкція впускного тракту та розміщення форсунок 56 забезпечують, що ні вони, ні трубки 57 не перешкоджають роботі форсунок 15 або трубок 36 високого тиску, що створює чітко організовану, багаторівневу систему впорскування без ризику завад чи теплового перехресного впливу.

У підсумку така інтегрована архітектура впускного колектора 21, допоміжного колектора 51 та форсуночних систем 56 і 15 забезпечує компактність, сервісну зручність, точність взаємного розташування компонентів і високу надійність роботи системи упорскування двофорсуночного типу.

У конструкції двигуна 1 із двофорсуночним упорскуванням впускний колектор 21 поділено на два окремі вузли: допоміжний впускний колектор 51 та основний впускний колектор 52. Така архітектура дозволила винести форсунки 56 упорскування у впускний канал та нагнітальні трубки 57 низького тиску на невеликий і компактний допоміжний колектор 51, що суттєво підвищило зручність демонтажу й транспортування цього вузла як єдиного блоку. Завдяки цьому підхід до технічного обслуговування спрощується: під час ремонтних робіт або регламентного обслуговування вузол, що складається з колектора 51, форсунок 56 та трубок 57, можна легко зняти з двигуна 1 і так само легко встановити назад, не впливаючи на інші компоненти системи впуску або ГРМ. Конструктивне розташування кріпильних сидл 59 форсунок 56 безпосередньо біля поверхні спряження головки 6 циліндрів та колектора 51 дозволило опустити форсунки максимально низько, що позитивно позначається на компоновці двигуна в моторному відсіку. Незважаючи на те, що трубчастий канал 83 основного

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

впускного колектора 52 проходить над форсунками 56, його вдалося розмістити на достатньо низькому рівні, щоб забезпечити великий технологічний зазор між двигуном 1 і капотом автомобіля. Таким чином, колектор 52 не заважає роботі форсунок 56 і не створює надмірних обмежень для загальної компоновки силового агрегата в автомобілі.

У цій же конструкції форсунки 56 розташовані у внутрішньому просторі S2, який обмежений зверху трубчастим каналом 83, знизу й з боків – допоміжним колектором 51 та елементами головки 6. Завдяки наявності вільного простору навколо форсунок теплове й механічне взаємодіяння з сусідніми елементами практично усунуто, що дозволило збільшити проєктні ступені свободи під час вибору їхніх монтажних кутів. Це дало можливість зорієнтувати факел упорскування форсунок 56 точно в напрямку корпусів 13а впускних клапанів 13, що покращує наповнення циліндра та формування суміші на малих і середніх навантаженнях. Одночасно з цим конструкція дозволила розмістити нагнітальні трубки 57 у зоні, яка знаходиться нижче поверхні 67 спряження колекторів 51 і 52, що виключає можливість контакту трубок із трубчастим каналом 83 і дозволяє колектору 52 бути встановленим на мінімально можливій висоті. Це рішення також позитивно вплинуло на компоновку двигуна, оскільки трубки 57 не перекривають зони підведення повітря й не перешкоджають установленню елементів впускного тракту.

Нагнітальні трубки 57 низького тиску підтримуються на фланці 55 допоміжного колектора 51 через ізолятори 65, які встановлені у кріпильні седла 76. Таке кріплення не лише забезпечує жорсткість і стабільність положення трубок відносно форсунок 56, але й дозволяє використати весь вертикальний простір між фланцем 55 та трубками 57 для встановлення досить довгих ізоляторів. Довжина ізоляторів 65 відповідає довжині форсунок 56, завдяки чому трубки 57 розташовані саме на тому рівні, де забезпечується оптимальна геометрія приєднання до з'єднувальних елементів 64 і одночасно досягається ефективне тепловідокремлення паливної магістралі від гарячих

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

поверхонь головки 6 циліндрів. Це важливо для системи низького тиску, оскільки зменшення температури палива сприяє стабільності його тиску й щільності, мінімізує ризики утворення парових пробок і забезпечує передбачувану роботу форсунок 56 у всьому діапазоні режимів двигуна.

У конструкції двигуна 1 із двофорсуночним упорскуванням ділянки 58 форсунок 56 упорскування у впускний канал мають таке подовження вниз, що їх нижні кінці розташовуються ближче до головки 6 циліндрів, ніж поверхня 60 спряження між головкою та допоміжним впускним колектором 51. Це дозволяє встановлювати форсунки 56 на значно нижчому рівні, тим самим зменшуючи відстань між торцем форсунки і корпусом 13а впускного клапана 13, що позитивно впливає на точність спрямування факела впорскування та інтенсивність сумішоутворення. Завдяки тому, що ділянка 58 опускається нижче поверхні 60, кріпильні сидла 59 допоміжного колектора 51 можуть бути виконані тоншими, без втрати їхньої міцності та жорсткості, що зменшує масу вузла та спрощує лиття корпусних деталей.

У двигуні 1 допоміжний впускний колектор 51 виконано як цілісну конструкцію – його частина з впускними проходами 53 для першого ряду 2 та частина з впускними проходами 54 для другого ряду 3 виготовлені як один блок. Така інтегрована конструкція дозволяє одному колектору 51 нести на собі всі форсунки 56 та всі нагнітальні трубки 57 низького тиску V-подібного багатociліндрового двигуна. Це дає суттєві переваги як на етапі складання, так і під час технічного обслуговування: можна одночасно встановлювати цілі групи форсунок 56 та трубок 57 на колектор, виконувати їхнє точне суміщення, а при необхідності – демонтувати кілька форсунок одним рухом, просто знявши допоміжний колектор 51 із двигуна 1. Відсутність потреби в окремому демонтажі кожної форсунки або трубки значно скорочує час обслуговування і підвищує доступність системи.

Впускний канал 11 і відгалуження впускного колектора 21, що підводять повітря до кожного циліндра, розміщені у внутрішньому просторі

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

між двома рядами циліндрів 2 та 3, виставленими у V-подібну структуру по осі колінчастого вала 27. Форсунки 15 прямого упорскування розташовані глибоко всередині цього простору, між впускними каналами 11 обох рядів циліндрів, що дозволяє використати простір між рядами максимально ефективно і водночас уникнути взаємного перекриття з іншими компонентами. Аналогічно, форсунки 56 упорскування у впускний канал розташовані у просторі S2, обмеженому бічними стінками та відгалуженнями впускного колектора 21 і верхніми частинами головок 6 циліндрів. У цьому ж просторі перекриваючим елементом є основний впускний колектор 52, який своїм входом у вигляді секції 83 проходить поперек над форсунками 56 другого ряду 3. Вся ця архітектура дає змогу максимально ефективно використати «мертву зону» S2, яка зазвичай не бере участі у формуванні робочих процесів, але у даному випадку служить ідеальним простором для розміщення форсунок 56 та їхніх магістралей 57. Оскільки з усіх боків S2 обмежена елементами головок 6, відгалуженнями впускного колектора 21 і входом основного колектора 52, форсунки 56 отримують фіксоване, але просторово вільне посадкове місце, де відсутні будь-які конфлікти з іншими компонентами. Завдяки цьому конструктори отримали широкі можливості для точного налаштування напрямку впорскування палива у бік впускних клапанів 13, що є критично важливим для роботи системи на малих та середніх навантаженнях, коли упорскування у впускний канал виконує основну функцію стабілізації суміші.

У конструкції двигуна 1 із двофорсуночним упорскуванням ділянки 58 форсунок 56 упорскування у впускний канал мають таке подовження вниз, що їх нижні кінці розташовуються ближче до головки 6 циліндрів, ніж поверхня 60 спряження між головкою та допоміжним впускним колектором 51. Це дозволяє встановлювати форсунки 56 на значно нижчому рівні, тим самим зменшуючи відстань між торцем форсунки і корпусом 13а впускного клапана 13, що позитивно впливає на точність спрямування факела впорскування та

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

інтенсивність сумішоутворення. Завдяки тому, що ділянка 58 опускається нижче поверхні 60, кріпильні сидла 59 допоміжного колектора 51 можуть бути виконані тоншими, без втрати їхньої міцності та жорсткості, що зменшує масу вузла та спрощує лиття корпусних деталей.

У двигуні 1 допоміжний впускний колектор 51 виконано як цілісну конструкцію – його частина з впускними проходами 53 для першого ряду 2 та частина з впускними проходами 54 для другого ряду 3 виготовлені як один блок. Така інтегрована конструкція дозволяє одному колектору 51 нести на собі всі форсунки 56 та всі нагнітальні трубки 57 низького тиску V-подібного багатоциліндрового двигуна. Це дає суттєві переваги як на етапі складання, так і під час технічного обслуговування: можна одночасно встановлювати цілі групи форсунок 56 та трубок 57 на колектор, виконувати їхнє точне суміщення, а при необхідності – демонтувати кілька форсунок одним рухом, просто знявши допоміжний колектор 51 із двигуна 1. Відсутність потреби в окремому демонтажі кожної форсунки або трубки значно скорочує час обслуговування і підвищує доступність системи.

Впускний канал 11 і відгалуження впускного колектора 21, що підводять повітря до кожного циліндра, розміщені у внутрішньому просторі між двома рядами циліндрів 2 та 3, виставленими у V-подібну структуру по осі колінчастого вала 27. Форсунки 15 прямого упорскування розташовані глибоко всередині цього простору, між впускними каналами 11 обох рядів циліндрів, що дозволяє використати простір між рядами максимально ефективно і водночас уникнути взаємного перекриття з іншими компонентами. Аналогічно, форсунки 56 упорскування у впускний канал розташовані у просторі S2, обмеженому бічними стінками та відгалуженнями впускного колектора 21 і верхніми частинами головок 6 циліндрів. У цьому ж просторі перекриваючим елементом є основний впускний колектор 52, який своїм входом у вигляді секції 83 проходить поперек над форсунками 56 другого ряду 3. Вся ця архітектура дає змогу максимально ефективно

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

використати «мертву зону» S2, яка зазвичай не бере участі у формуванні робочих процесів, але у даному випадку служить ідеальним простором для розміщення форсунок 56 та їхніх магістралей 57. Оскільки з усіх боків S2 обмежена елементами головок 6, відгалуженнями впускного колектора 21 і входом основного колектора 52, форсунки 56 отримують фіксоване, але просторово вільне посадкове місце, де відсутні будь-які конфлікти з іншими компонентами. Завдяки цьому конструктори отримали широкі можливості для точного налаштування напрямку впорскування палива у бік впускних клапанів 13, що є критично важливим для роботи системи на малих та середніх навантаженнях, коли упорскування у впускний канал виконує основну функцію стабілізації суміші.

Згідно дослідних даних при використанні комбінованої системи з двома форсунками питома ефективна витрата палива зменшується на 2% (в нашому випадку на 5 г/(кВт×год) – з 256 до 251 г/(кВт×год)).

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

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Мета дослідження полягає в аналітичному обґрунтуванні економічної доцільності введення в експлуатацію двох форсунок для впорскування палива.

У таблиці 4.1 приведені техніко-економічні показники двигуна 6Ч 8,3/7,7 (TOYOTA 4GR-FSE) з впорскуванням однією та двома форсунками.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники двигуна

Найменування	Позначення	Розмірність	Базовий двигун	Спроектований двигун
Потужність	N_e	кВт	150	150
Частота обертання	n	хв^{-1}	6400	6400
Діаметр циліндра, м	D	м	0,083	0,083
Хід поршня, м	S	м	0,077	0,077
Питома витрата палива	g_{ep}	кг/кВт·год	0,256	0,251
Механічний ккд	η_m	-	0,8	0,8
Питома витрата масла	g_m	кг/кВт·год	0,0022	0,0022
Ціна двигуна	C	грн	800000	830000
Ціна палива	C_p	грн/кг	60	60
Ціна масла	C_m	грн/кг	50	50
Час роботи за рік	t	год	800	800
Число контрольних ремонтів	η	-	1	1
Сумарний коефіцієнт по капітальних ремонтах	ϵ_{min}	-	1,1	1,1
Коефіцієнт частини вартості роботи	b	-	0,05	0,05

Коефіцієнт використання потужності	$K_{\text{п}}$	-	0,85	0,85
Коефіцієнт частини вартості капітального ремонту	$K_{\text{к.р.}}$	-	0,3	0,3
Ресурс двигуна до першого перебирання	$t_{\text{пер}}$	год	30000	30000
Ресурс двигуна до капітального ремонту	$t_{\text{к.р.}}$	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

$$N = K_{\text{п}} \cdot N_{\text{е}} \cdot t, \text{ кВт*г за рік}$$

2) Термін служби

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

3) Річні поточні витрати на паливо

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

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.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						53
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	102000,0	102000,0
Термін служби	T	рік	10,0	10,0
Річні поточні витрати на паливо	$Z_{\text{п}}$	грн	1566720,0	1536120,0
Річні поточні витрати на масло	$Z_{\text{м}}$	грн	11220,0	11220,0
Річні витрати на поточний ремонт	$Z_{\text{п.р}}$	грн	1066,7	1106,7
Річні витрати на капітальний ремонт	$Z_{\text{к.р}}$	грн	1745,5	1810,9
Річний економічний ефект у споживача	U_1	грн	1580752,1	1550257,6
	U_1^{16}	грн	1580752,1	-
Річний економічний ефект у споживача від використання спроектованого двигуна	$E_{\text{к}}$	грн	110744,1	
Додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна	ΔK	грн	30000,0	
Річна економія при експлуатації модернізованого двигуна	ΔS	грн	30494,5	
Час окупності модернізованого двигуна	$T_{\text{окуп}}$	рік	0,98	
		місяць	11,81	

Річний економічний ефект спроектованого двигуна в порівнянні з базовим двигуном за рахунок використання впорскування двома форсунками у розмірі 110744,1 грн. Заміна базового двигуна окупиться приблизно за 1 рік.

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Забезпечення вимог охорони праці під час експлуатації, технічного обслуговування та ремонту форсунок бензинових двигунів є критично важливою складовою безпечної діяльності персоналу, що працює з паливними системами автомобільної техніки. Форсунки сучасних бензинових двигунів — як системи розподіленого впорскування (MPI), так і системи безпосереднього впорскування палива (GDI) — є надзвичайно точними елементами, що працюють у складних умовах високого тиску, впливу температур, електронного керування та високої чутливості до забруднення. Тому будь-які операції, пов'язані з ними, потребують чіткої організації робочого процесу, дотримання технічних регламентів, застосування засобів захисту й контролю потенційно небезпечних факторів.

Під час експлуатації автомобіля ключовим завданням є забезпечення технічно справного стану паливної системи, оскільки від неї залежить не лише ефективність роботи двигуна, а й безпека пасажирів, водія та оточення. Новітні бензинові інжекторні системи працюють при тиску від 3 до 6 бар у системах MPI та від 50 до 250 МПа у системах GDI. За таких умов навіть незначний витік палива може спричинити утворення вибухонебезпечної хмари пального, особливо у замкнених приміщеннях або у відсіках з підвищеною температурою. Тому водій, механік або інженер повинен регулярно проводити візуальну оцінку стану паливних трубопроводів, стиків, кріплень та електричних роз'ємів, що живлять форсунки. Ознаки підтікання, запах бензину, нестабільна робота двигуна, зміна витрати палива або поява пропусків займання потребують негайного діагностичного втручання.

У процесі технічного обслуговування форсунок працівники контактують із низкою шкідливих та небезпечних виробничих факторів, серед яких — підвищений тиск, токсичні пари бензину та розчинників, електричний

					<i>KPM.142.6221м.25.07.00.ПЗ</i>	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

струм, ризик займання, термічні впливи, шум, вібрації та хімічно активні речовини. Перед початком робіт необхідно повністю зняти тиск у системі, адже навіть 3–5 бар можуть спричинити неконтрольований розбризк палива, а високі тиски GDI становлять загрозу травмування глибоким прорізом струменя бензину, що виходить із форсунки під великим тиском. Персонал зобов'язаний виконувати цю операцію відповідно до інструкцій заводу-виробника, використовуючи спеціальні інструменти та редуційні клапани.

Важливо, щоб робоче місце, на якому здійснюється діагностика та ремонт форсунок, було обладнане системою припливно-витяжної вентиляції. Пари бензину мають високу токсичність, спричиняють порушення функцій центральної нервової системи, подразнення дихальних шляхів, головний біль, запаморочення та можуть створювати вибухонебезпечні концентрації у повітрі. Освітлення повинно бути достатнім та безпечним: світильники повинні мати захист від іскроутворення й перегріву. Робочі столи повинні мати хімічностійкі поверхні, легко очищатися від речовин, що можуть потрапити на них у процесі роботи.

При промиванні форсунок необхідно використовувати лише спеціалізовані хімічні засоби, які відповідають регламентованим стандартам і мають дозволи на застосування. Більшість таких складів є токсичними та легко займистими, тому робота з ними виконується лише в рукавицях, захисних окулярах і з обов'язковим використанням вентиляції. Контакт реагентів зі шкірою може викликати хімічні опіки, алергічні реакції або подразнення слизових оболонок, а випадкове потрапляння до очей становить серйозну небезпеку для зору. Тому промивання, очищення та перевірка факела розпику форсунок виконуються лише у спеціальних камерах або на стендах із прозорими захисними екранами.

Під час роботи з форсунками GDI особливу увагу слід приділяти ризику гідравлічного прорізання шкіри струменем палива. Бензин, що виходить із форсунки під тиском понад 100 МПа, здатен проникати під шкіру й викликати

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

серйозні внутрішні пошкодження, які можуть бути непомітними на перший погляд, але становлять загрозу життю. Тому діагностика таких форсунок повинна проводитися лише у захисних боксах, а самі працівники повинні проходити спеціалізоване навчання та інструктаж.

Ремонт форсунок вимагає особливої точності. Оскільки конструкції сучасних форсунок є високоточними та багатокomпонентними, забороняється використання ударного інструменту, нагрівання корпусу відкритим полум'ям або застосування надмірних механічних зусиль. Усі ущільнювальні кільця, фільтрувальні сітки, розпилювальні отвори та електричні елементи повинні оглядатися під збільшенням, адже навіть незначні дефекти можуть спричинити неконтрольовані зміни у паливоподачі, що впливають на токсичність вихлопу та підвищують ризик перегріву двигуна.

Організаційні заходи охорони праці передбачають не лише інструктажі, а й створення системи відповідального контролю за проведенням робіт. Усі працівники проходять вступний, первинний, повторний та позаплановий інструктажі з техніки безпеки, повинні знати вимоги пожежної безпеки, правила експлуатації стендів та інструменту, порядок дій у разі аварійних ситуацій. Підприємства зобов'язані мати журнал реєстрації інструктажів та систему допуску персоналу до виконання спеціальних робіт.

Одним із ключових аспектів екологічної безпеки є контроль герметичності паливної системи. Навіть незначні витoki бензину негативно впливають на атмосферу, оскільки бензинові пари містять леткі органічні сполуки, що сприяють утворенню смогу та мають токсичний вплив на здоров'я людей. Зокрема, бензол, толуол та ксилол відносяться до канцерогенних речовин, тому їх потрапляння у повітря навіть у малих кількостях є небажаним. Витoki пального також можуть проникати у ґрунт, забруднювати водоносні горизонти та створювати довготривалі екологічні наслідки. Тому обслуговування та ремонт паливної апаратури повинні

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

виконуватися лише за умов повного контролю над станом з'єднань, ущільнень та паливних трубопроводів.

Під час діагностики та промивання форсунок утворюється значна кількість відходів: залишки бензину, використані хімічні реагенти, промивні рідини, а також забруднені фільтри, серветки й ущільнювальні елементи. Усі ці матеріали належать до категорії небезпечних відходів, їх неправильне поводження становить загрозу довкіллю та здоров'ю людини. Забороняється зливання промивних рідин у каналізацію, оскільки це призводить до хімічного забруднення водних ресурсів і шкодить мікрофлорі очисних споруд. Відходи повинні збиратися у спеціально марковані герметичні контейнери, стійкі до впливу агресивних середовищ, та передаватися на утилізацію або регенерацію підприємствам, що мають відповідні ліцензії.

Важливою складовою екологічної безпеки є організація вентиляційних систем у приміщеннях, де проводиться обслуговування форсунок. Пари бензину утворюють вибухонебезпечні суміші, а також містять токсичні речовини, що шкідливо впливають на дихальну систему та нервову діяльність. Недостатня вентиляція сприяє накопиченню шкідливих випарів і підвищенню концентрацій летких органічних сполук, які можуть перевищувати нормативні граничні величини, передбачені санітарними правилами. Тому приміщення СТО, лабораторій і майстерень повинні бути обладнані ефективними припливно-витяжними системами та датчиками контролю якості повітря.

Також необхідно враховувати екологічні аспекти роботи самого двигуна з несправними форсунками. Некоректна подача палива призводить до зростання вмісту оксиду вуглецю, незгорілих вуглеводнів та азотистих сполук у відпрацьованих газах. Такі викиди створюють підвищене навантаження на атмосферу, сприяють утворенню фотохімічного смогу та негативно впливають на здоров'я людей та екосистеми. Екологічно безпечна експлуатація передбачає регулярну діагностику інжекторів, перевірку їх

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

продуктивності, факела розпилу і рівномірності подачі палива з метою забезпечення оптимального складу паливно-повітряної суміші.

Екологічні заходи також включають правильне зберігання паливно-мастильних матеріалів [8]. Бензин та промивні рідини повинні зберігатися у герметичних контейнерах, що запобігають випаровуванню та витокам. Забороняється зберігання бензину у пластикових пляшках або несертифікованих ємностях, оскільки це підвищує ризик витоку та ускладнює контроль над екологічною безпекою. Місця зберігання повинні бути облаштовані піддонами для збору можливих розливів, а персонал — навчений правилам поводження з небезпечними речовинами.

Особлива увага приділяється поводженню з аварійними розливами бензину та реагентів. Усі майстерні повинні мати сорбенти, піскоутримувачі, спеціальні подушки або грануляти для швидкої локалізації забруднення. Забороняється використовувати воду для змивання розлитого бензину, адже це сприяє поширенню забруднення та підвищує ризик займання. Зібрані сорбуючі матеріали підлягають утилізації як небезпечні відходи.

Важливо також враховувати екологічний аспект виробничої культури. Персонал повинен мати чіткі інструкції щодо поводження з відходами, бути обізнаним у принципах екологічної відповідальності та проходити навчання щодо запобігання негативному впливу на довкілля. Підприємства повинні контролювати обсяги накопичення небезпечних матеріалів, своєчасно передавати їх на утилізацію та вести облік руху таких відходів.

Окремим аспектом є психофізіологічні фактори впливу на працівників. Робота з дрібними елементами та високоточним обладнанням вимагає підвищеної концентрації уваги, доброго зору, стійкості нервової системи та високого рівня відповідальності. Керівництво підприємства повинно організувати режим праці та відпочинку таким чином, щоб запобігати перевтомі, адже зниження уваги може призвести до критичних помилок.

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

Медичний контроль працівників, які працюють з форсунками, хімічними засобами та бензином, є обов'язковим. Періодичні медогляди дають можливість своєчасно виявити ознаки професійних захворювань, пов'язаних із впливом токсичних речовин або тривалим перебуванням у приміщеннях зі шкідливими випарами. Працівники з хронічними захворюваннями дихальної системи, серцево-судинними розладами або алергіями потребують особливо ретельного контролю або можуть бути переведені на інші роботи.

Таким чином, охорона праці під час експлуатації, обслуговування та ремонту форсунок бензинових двигунів включає широкий комплекс технічних, організаційних, санітарно-гігієнічних, екологічних і навчальних заходів, спрямованих на створення максимально безпечних умов праці. Дотримання цих вимог забезпечує не лише безпеку персоналу, а й високий рівень надійності автомобільних систем, зменшення аварійності, підвищення ефективності роботи та формування культури безпечного виробництва в сучасній автомобільній галузі.

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

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження з удосконалення паливної системи бензинового багатociліндрового двигуна 6Ч 8,3/7,7 (Toyota 4GR-FSE) шляхом застосування двох форсунок для впорскування палива. На основі проведеного аналізу встановлено, що сучасні тенденції розвитку автомобільних двигунів спрямовані на одночасне підвищення економічності, екологічності та потужнісних характеристик силових агрегатів, що зумовлює необхідність використання комбінованих систем упорскування.

На підставі вивчення конструктивних особливостей двигуна 6Ч 8,3/7,7 визначено, що він має високий потенціал для модернізації завдяки розвиненій системі газорозподілу, оптимізованому впускному тракту та високоточній роботі ГРМ і системи запалювання. Аналіз сучасних способів покращення робочих показників двигунів підтвердив, що серед великої кількості технічних рішень — турбонаддуву, зменшення об'єму (downsizing), удосконалених систем запалювання, застосування нових матеріалів — найбільш перспективним і технологічно ефективним є використання двох форсунок на циліндр.

У роботі детально досліджено конструкцію та принцип функціонування двофорсуночної системи, що включає форсунку прямого впорскування та форсунку упорскування у впускний канал. Встановлено, що така схема забезпечує:

- покращення процесу сумішоутворення у всьому діапазоні обертів двигуна;
- зменшення викидів твердих частинок та токсичних компонентів вихлопу;
- підвищення детонаційної стійкості за рахунок більш рівномірного охолодження заряду;

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- покращення роботи на збіднених та перехідних режимах;
- зниження витрати палива та підвищення ККД.

Розроблене технічне рішення дозволяє оптимізувати взаємодію двох систем упорскування, мінімізувати газодинамічні втрати у впускному тракті та полегшити технічне обслуговування завдяки модульній конструкції допоміжного впускного колектора, на якому змонтовані форсунки впорскування у канал.

Економічний аналіз підтвердив доцільність упровадження двофорсуночної системи, оскільки покращення паливної економічності та стабільності згоряння компенсує витрати на модернізацію. У розділі з охорони праці розроблено комплекс заходів, спрямованих на безпечну експлуатацію та обслуговування паливної системи бензинового двигуна.

					КРМ.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD_Toyota_GR.
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.142.6221м.25.07.00.ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		