

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

Кафедра двигунів
внутрішнього згорання,
установок та технічної
експлуатації

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри
Олексій ГОГОРЕНКО


« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПАЛИВОПОДАЧІ АВТОТРАКТОРНОГО ДВИГУНА З ПРИМУСОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згорання

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи

Здобувач освіти



Аркадій ПРОСКУРІН

Дмитро БОНДАР

Миколаїв 2025

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Олексій ГОГОРЕНКО

« » 20 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Бондар Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація системи паливоподачі автотракторного двигуна з примусовим запалюванням

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 – 4Ч 9,0/9,8; паливо – бензин; потужність
двигуна – 130 кВт, частота обертання колінчастого валу – 6000 хв⁻¹

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Особливості застосування двигуна 4С 9,0/9,8 на автомобілі Toyota Crown; Аналіз методів вдосконалення процесів паливоподачі в автомобільних двигунах; Модернізація системи паливоподачі двигуна 4С 9,0/9,8; Забезпечення вимог охорони праці; Економічне обґрунтування

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вид автомобільного двигуна Toyota Crown; Поперечний переріз двигуна
4Ч 9,0/9,8; Принципова схема функціонування систем двигуна; Схема паливної
системи двигуна; Схема конфігурації паливопроводу

7. Консультанти розділів роботи

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

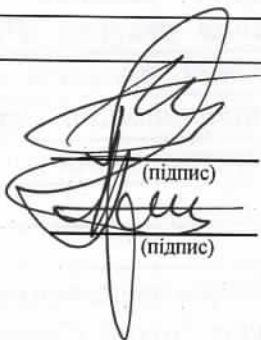
8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

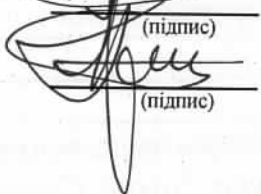
№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оформлення 1 розділу		
2	Оформлення 2 розділу		
3	Оформлення 3 розділу		
4	Оформлення 4 розділу		
5	Оформлення 5 розділу		
6	Оформлення креслень		

Здобувач освіти

Керівник роботи



(підпис)



(підпис)

Дмитро БОНДАР

(прізвище та ініціали)

Аркадій ПРОСКУРІН

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо вдосконалення процесів паливоподачі автотракторного двигуна шляхом модернізації паливної системи. Розглянуто економічне обґрунтування. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 61 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 8 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: автотракторний двигун, паливо, форсунка, паливний насос.

The qualification work presents a set of measures to improve the fuel supply processes of a motor vehicle engine by modernizing the fuel system. The economic justification was considered. Measures to ensure occupational safety are also provided.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 61 pages of explanatory note. 8 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1.

Key words: automotive engine, fuel, injector, fuel pump.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Особливості застосування двигуна 4Ч 9,0/9,8 на автомобілі Toyota Crown.....	5
Розділ 2. Аналіз методів вдосконалення процесів паливоподачі в автомобільних двигунах.....	17
Розділ 3. Модернізація системи паливоподачі двигуна 4Ч 9,0/9,8.....	33
Розділ 4. Економічне обґрунтування.....	48
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	52
Висновки.....	59
Список використаної літератури.....	61
Додаток А. Загальний вид автомобільного двигуна Toyota Crown.....	62
Додаток Б. Поперечний переріз двигуна 4Ч 9,0/9,8.....	63
Додаток В. Принципова схема функціонування систем двигуна.....	64
Додаток Г. Схема паливної системи двигуна.....	65
Додаток Д. Схема конфігурації паливопроводу.....	66

ВСТУП

Актуальність досліджень, спрямованих на вдосконалення процесів паливоподачі в автомобільних двигунах, зумовлена поєднанням екологічних, економічних та технічних вимог, які постійно посилюються. Сучасні норми викидів (насамперед рівня Euro 6 і подальших регламентів) істотно обмежують викиди NO_x, CO, незгорілих вуглеводнів та твердих частинок, причому для бензинових двигунів з безпосереднім упорскуванням запроваджено жорсткі ліміти за кількістю частинок (PN). Це прямо стимулює розвиток високоточних систем упорскування палива та алгоритмів керування, адже саме процес паливоподачі визначає формування паливно-повітряної суміші, перебіг згоряння та, відповідно, рівень шкідливих викидів.

Мета даної роботи – вдосконалення процесів паливоподачі в автомобільних двигунах 4Ч 9,0/9,8.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Аналіз сучасних методів вдосконалення процесів паливоподачі в автомобільних двигунах.
2. Модернізація системи паливоподачі.
3. Оцінка запропонованих рішень, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – система паливоподачі двигуна.

Предмет дослідження – параметри роботи системи паливоподачі.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА 4Ч 9,0/9,8 НА
АВТОМОБІЛІ TOYOTA CROWN

Опис легкового автомобіля Toyota Crown

Toyota Crown (укр. Тойота Краун) – автомобіль виробництва компанії Toyota, що перетворила цю модель в лінійку повнорозмірних седанів класу «люкс». Спочатку продавалися в Японії в деяких інших азійських країнах, розроблялися для експлуатації як таксі. Так було в останні роки продажів в США, де автомобіль продавали з кінця 1950-х років і по 1971 рік. Краун – найстаріший седан виробництва Toyota. За соціальним статусом він не конкурує лише з Toyota Century, Toyota Celsior і Toyota Crown Majesta. Crown використовується багатьма японськими організаціями як лімузини компанії. Експорт до Європи почався в 1964 у з перших автомашин, які прийшли в Фінляндії. Іншими європейськими країнами, де побачили імпорту цих машин, були Нідерланди та Бельгія. Велика Британія з'явилася ще одним ринком збуту таких автомашин до початку 1980-х років. Також дана модель кілька років експортувалася в Канаду – в 1965-1968 роках. На багатьох ринках Crown стала дуже дорогою автомашиною і була замінена моделлю Toyota Cressida, коли вона почала експортуватися на початку 1980-х років.

Австралія також була важливим ринком експорту для Toyota Crown – до такої міри, що там був організований випуск машин з середини 1960-х років до кінця 1980-х з використанням безлічі місцевих компонентів.

Більшість моделей машини відрізняються емблемою «корони» спереду, але ззаду зазвичай використовується однакова емблема Toyota.

Слово «корона» в різних формах присутній в назвах інших моделей Toyota, так як ця назва надихнула компанію на випуск їхніх перших седанів. Corolla по-латині означає «маленька корона», Camry – фонетична

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

транскрипція японського слова «kanmuri», що позначає корону і Corona також по-латині означає «корона».

15 липня 2022 року представлено шістнадцяте покоління моделі в чотирьох кузовах: кросовер, спорт, седан і універсал.

Чотирнадцяте покоління Toyota Crown (S210) було запущено в грудні 2012 року в новому стилі, з серією Royal, стилізованої під серію MS105 п'ятого покоління Crown (рис. 1.1) [1].

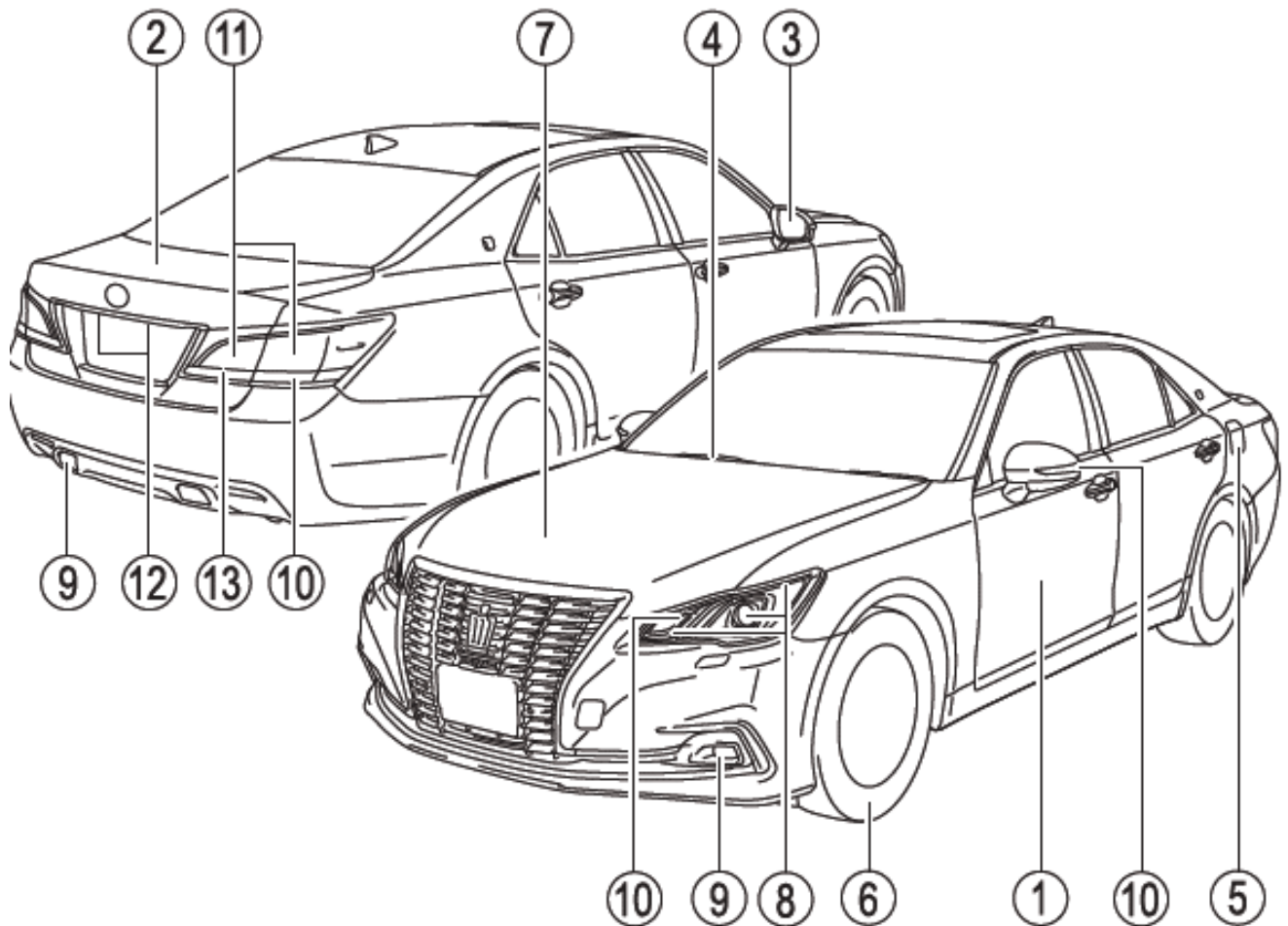


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд Toyota Crown (S210)

У грудні 2012 року була запущена в серію Toyota Crown чотирнадцятого покоління (S210). Нове покоління Crown, побудоване на платформі S210, стало найбільшим за всю історію моделі. Колісна база тепер складає 2,85 м, що на 7 см більше, ніж у Crown попередньої генерації.

Ось уже кілька поколінь (починаючи з одинадцятого), автомобіль випускається в двох версіях – шикарний Royal і спортивний Athlete, – мають деякі відмінності в дизайні, настройках підвіски і в комплектаціях. Інтер'єр Crown Royal побудований за принципом «в гармонії з контрастом»: різні кольори панелей, деталей оббивки сидінь, тришарова передня панель створюють відчуття легкості і в той же час глибини, візуально вивільняючи додатковий простір. Кольорові рішення Crown Athlete схилиються до темних і менш контрастним тонам. Для більшості комплектацій передбачені автоматично зрушуються кермо і крісло водія для зручності посадки-висадки; електропривод, вентиляція і підігрів передніх сидінь. На Crown Royal ще й електропривод і підігрів задніх сидінь. У цій же шикарною версії передбачений подвійний кондиціонер і задній центральний підлокітник з вбудованою панеллю управління кліматичною установкою і аудіосистемою.

На Toyota Crown ставляться три типи двигунів. Для Crown Royal це 2,5-літрові мотори. Базовий бензиновий 4GR-FSE з безпосереднім уприскуванням і потужністю 203 к.с., а також гібридна силова установка, в основі якої двигун 2AR-FSE. Потужність не велика – 178 к.с., але зате разюче невелика витрата палива – всього 4,3 літра на «сотню». Якщо навпаки перевести в кілометри на літри, то вийде, що гібридний Crown на одному літрі здатний проїхати 23,2 км, в той час як зі звичайним бензиновим двигуном – 11,4 кілометра. Ці ж обидва мотори ставляться на Crown Athlete, а крім них ще й 3,5-літровий 2GR-FSE потужністю 315 к.с.

Підвіска Toyota Crown – незалежна. Подвійний поперечний важіль попереду і підвіска ззаду. Трохи роздали в розмірах, автомобіль в той же час придбав нижчий центр ваги, що поліпшило стійкість. На Crown Athlete використовується адаптивна система безступеневого регулювання жорсткості підвіски: вона забезпечує високу маневровість і курсову стійкість, в різних ситуаціях підтримуючи високий рівень комфорту їзди в динамічних режимах. «Автомати» бензинових версій оснащені вбудованим контролером режиму

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

руху та управління прискоренням DRAMS, який пристосовується під дії водія. Crown зі звичайними моторами комплектуються автоматичними коробками передач. Для 2,5-літрового двигуна це 6-ступенева АКПП (привід на задні колеса або повний). Для 2GR-FSE – 8-ступенева. Гібридний Crown оснащується варіатором.

Дане покоління має кілька систем превентивного захисту за замовчуванням на всіх комплектаціях: це системи контролю курсової стійкості (VSC) і тяги (TRC); система розподілу гальмівного зусилля (EBD) в якості доповнення до ABS; антипробуксувальна система (TCS). В якості опції: інтелектуальна система управління головним світлом; радарний круїз-контроль, що забезпечує не тільки постійний контроль швидкості, але і управління прискоренням і гальмуванням в залежності від дорожньої ситуації. Toyota Crown заслужила вищих оцінок по рейтингу JNCAP за високий рівень захисту при зіткненні. Зокрема, водія і пасажирів захищають сім (Crown Athlete) або дев'ять (Crown Royal) подушок безпеки, а також активні підголівники.

Опис двигуна 4Ч 9,0/9,8 (2AR -FSE)

Сімейство двигунів AR (табл. 1.1) – це серія поршневих чотирициліндрових двигунів від Toyota, вперше представлених у 2008 році для RAV4, а згодом для Highlander, Venza, Camry та Scion tC.

1AR-FE (2.7 EFI DVVT) – поперечного розташування, з розподіленням уприскуванням. Застосування: Toyota Venza, Highlander, Sienna; Lexus RX.

2AR-FE (2.5 EFI DVVT) – поперечного розташування, з розподіленням уприскуванням. Застосування: Toyota RAV4, Camry, Alphard/Vellfire, Zelas; Lexus ES; Scion tC.

2AR-FXE (2.5 EFI DVVT) – поперечного розташування, з розподіленням уприскуванням, для гібридних силових установок. Застосування: Toyota RAV4, Camry, Avalon, Harrier, Alphard/Vellfire; Daihatsu Altis; Lexus ES, NX.

					<i>KPM.142.6221м.25.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2AR-FSE (2.0 D-4S VVT-iW) – поздовжнього розташування, з комбінованим уприскуванням, для гібридних силових установок. Застосування: Toyota Crown; Lexus IS, GS.

3AR-FE (2.7 EFI DVVT) – аналог 1AR-FE для китайського ринку. Застосування: Toyota Highlander CHN.

4AR-FXE (2.5 EFI DVVT) – аналог 2AR-FXE для китайського ринку. Застосування: Toyota Camry CHN.

5AR-FE (2.5 EFI DVVT) – аналог 2AR-FE для китайського ринку. Застосування: Toyota RAV4, Camry, Harrier CHN.

6AR-FSE (2.0 D-4S VVT-iW) – поперечного розташування, з комбінованим уприскуванням. Застосування: Toyota Camry; Lexus ES.

8AR-FTS (2.0 D-4ST VVT-iW) – поперечного розташування, з турбонаддувом, з комбінованим уприскуванням. Застосування: Toyota Harrier, Highlander; Lexus NX, RX.

8AR-FTS (2.0 D-4ST VVT-iW) – поздовжнього розташування, з турбонаддувом, з комбінованим уприскуванням. Застосування: Toyota Crown; Lexus IS, GS, RC.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики сімейства двигунів AR

Двигун	V, см ³	D x S, мм	Ст. стист	N, л.с	M, Нм	RON	ECS	Stan.
1AR-FE	2672	90.0 x 105.0	10.0	185 / 5800	252 / 4200	91	L-EFI	EEC
2AR-FE	2494	90.0 x 98.0	10.4	179 / 6000	233 / 4000	91	L-EFI	EEC
2AR-FXE	2494	90.0 x 98.0	12.5	160 / 5700	213 / 4100	91	L-EFI	JIS
2AR-FSE	2494	90.0 x 98.0	13.0	178 / 6000	221 / 4200	91	D-4S	JIS
5AR-FE	2494	90.0 x 98.0	10.4	179 / 6000	234 / 4100	-	L-EFI	CHN
6AR-FSE	1998	86.0 x 86.0	12.7	165 / 6500	199 / 4600	91	D-4S	EEC
8AR-FTS	1998	86.0 x 86.0	10.0	238 / 4800	350 / 1650	95	D-4ST	EEC

4Ч 9,0/9,8 (2AR-FSE) (табл. 1.2, рис. 1.2) є варіантом 2AR-FE, оснащеним прямим уприскуванням D4-S і портовим уприскуванням. Він має той самий діаметр і хід, що й інші двигуни 2AR, але головка блоку циліндрів, кулачки, поршні та система управління паливом унікальні.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ			Аркуш
								9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики двигуна

Параметр	Значення
Кількість циліндрів та компонування	4-циліндровий, рядний
Клапанний механізм	16-клапанний, DOHC, ланцюговий привід
Робочий об'єм	2494 см ³ (152,6 куб. дюймів)
Діаметр × хід поршня	90,0 × 98,0 мм
Ступінь стиску	13,0 : 1
Максимальна потужність	130 кВт при 6000 хв ⁻¹
Максимальний крутний момент	221 Нм при 4200 хв ⁻¹
Ємність системи змащення	4,4 л
Клас масла	5W-30
Ресурс двигуна, км	300000
Октанове число	не менше 95
Стандарт токсичності	EURO V
Експлуатаційна маса	150 кг

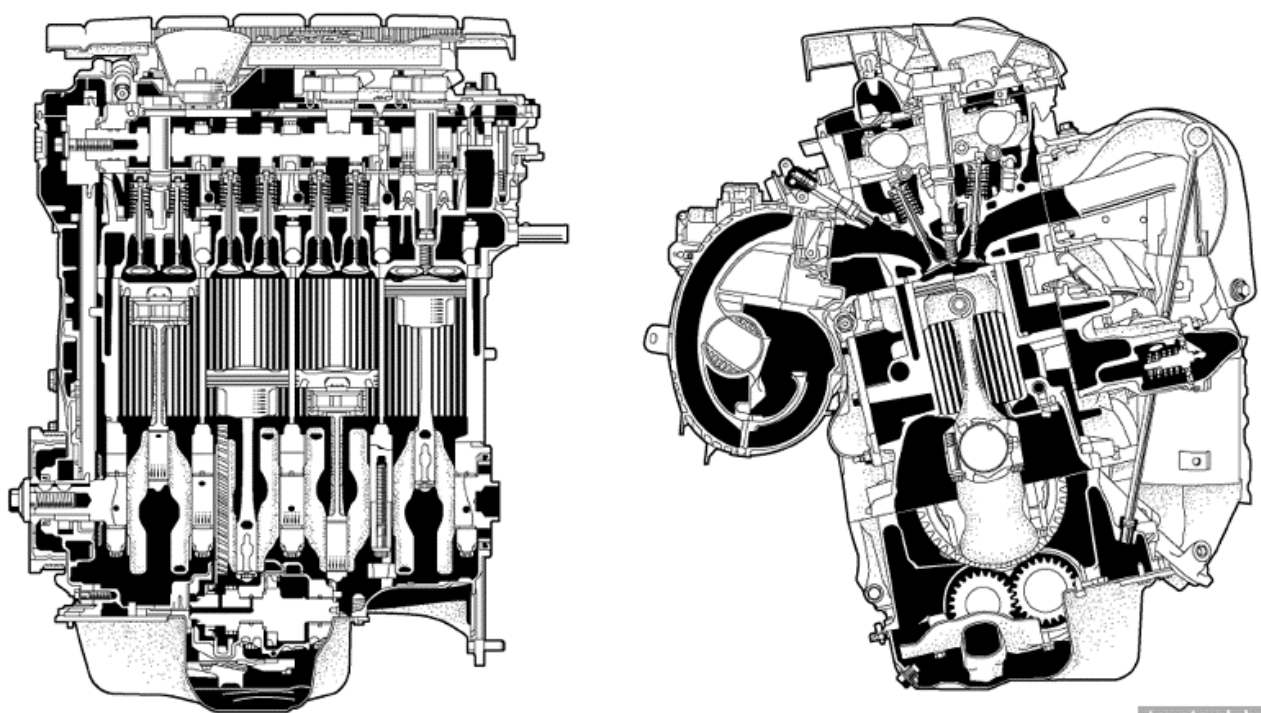


Рисунок 1.2 – Поперечний переріз двигуна 4Ч 9,0/9,8

У двигуні застосовується алюмінієвий (легкоплавний) гільзований блок циліндрів (рис. 1.3) з відкритою сорочкою охолодження. Гільзи вплавлені в матеріал блоку, а їх спеціальна зовнішня нерівна поверхня сприяє максимально міцному з'єднанню і поліпшеному тепловідводу.

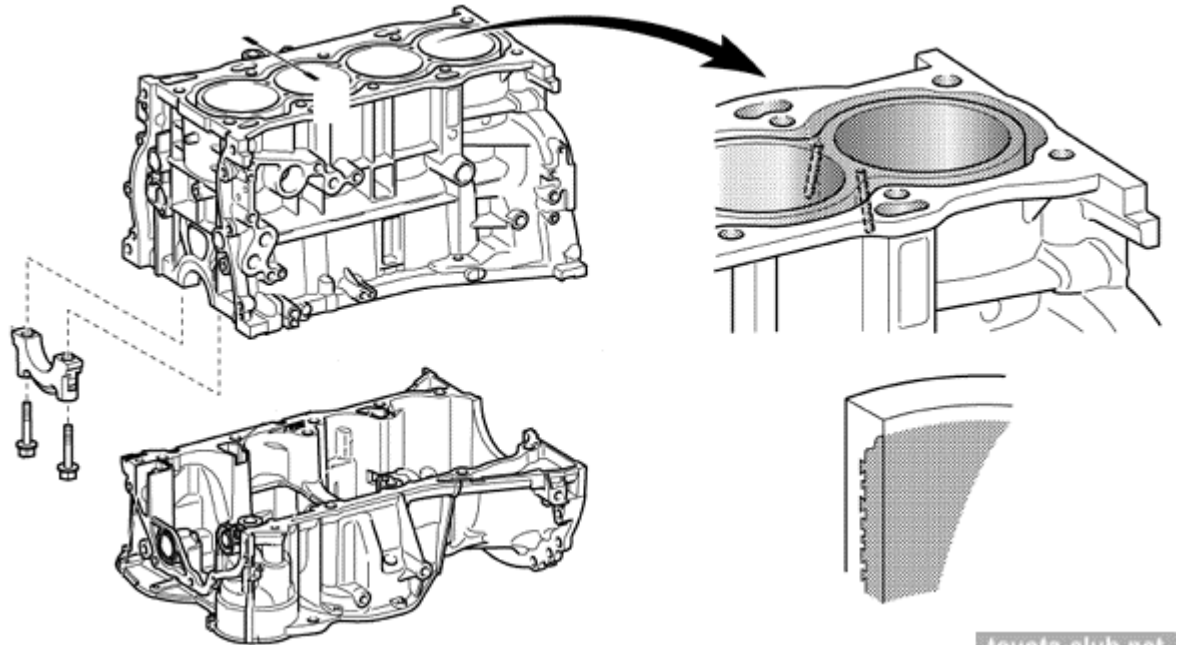


Рисунок 1.3 – Блок циліндрів

До блоку кріпиться масивний литий картер, що виконує роль верхньої частини масляного піддону.

Колінчастий вал (рис. 1.4) встановлений з 10-мм дезаксажем (осі циліндрів не перетинаються з поздовжньою віссю колінвала, завдяки чому знижуються навантаження в парі поршень-гільза в момент створення в циліндрі максимального тиску) [2].

Колінвал має 8 противаг на щоках, шийки зменшеної ширини та традиційні окремі кришки корінних підшипників. Від колінчастого валу за допомогою шестеренної передачі наводиться балансірний механізм з полімерними шестернями, що традиційно встановлюється тойотівцями на рядні четвірки робочим об'ємом більше двох літрів.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

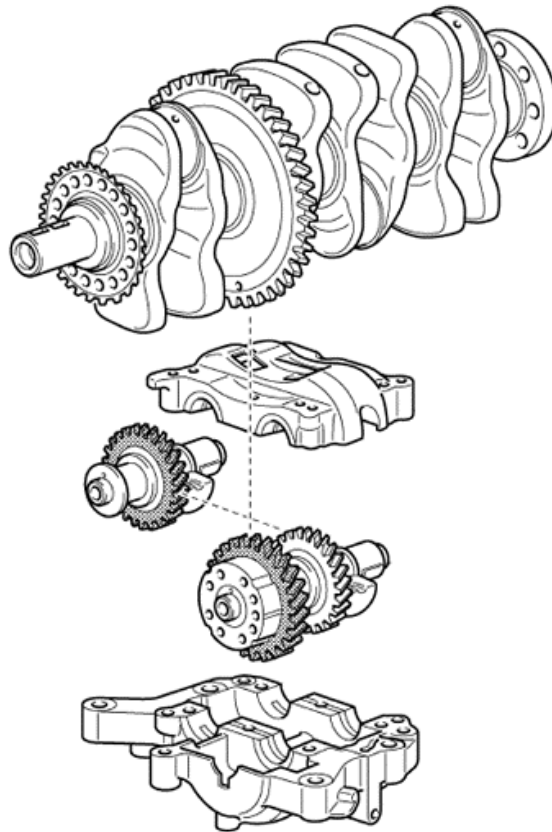


Рисунок 1.4 – Колінчастий вал

У сорочці охолодження встановлена проставка (рис. 1.5), завдяки якій рідина, що охолоджує, більш інтенсивно циркулює в зоні верхньої частини циліндрів, що покращує тепловідведення і сприяє більш рівномірному термонавантаженню.

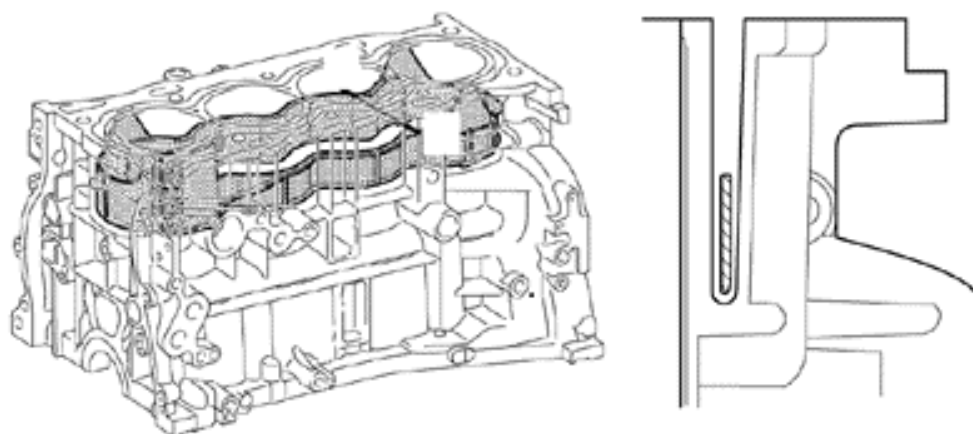


Рисунок 1.5 – Проставка

Поршні (рис. 1.6) – легкосплавні, компактні Т-подібні, з рудиментарною спідницею. Канавка верхнього компресійного кільця має анодоване покриття, край верхнього компресійного кільця - протизносне покриття методом конденсації парів. Поршні з'єднуються з шатунами пальцями, що повністю плавають.

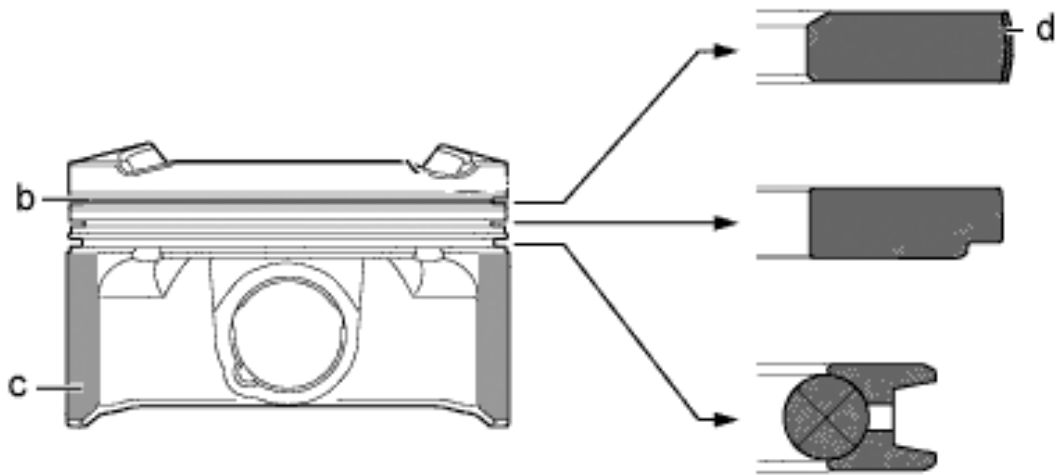


Рисунок 1.6 – Поршень

Як прийнято на двигунах нового покоління, розподільні вали встановлюються в окремий корпус, який потім монтується на головку блоку – це спрощує конструкцію та технологію обробки власне ГБЦ. У приводі клапанів використовуються гідрокомпенсатори клапанних зазорів та роликові штовхачі/рокери. У легкосплавній кришці головки прокладено магістраль підведення олії до рокерів.

Привід газорозподільного механізму здійснюється однорядним ланцюгом (крок 9,525 мм). Гідронатягувач ланцюга зі стопорним механізмом встановлений із внутрішньої сторони кришки, але має доступ через сервісний отвір. Мастило ланцюга - за допомогою окремої олійної форсунки.

Головна відмінність нових двигунів - приводи зміни фаз газорозподілу встановлюються на розподільних валах і впускних, і випускних клапанів (DVVT - Dual Variable Valve Timing). Фази змінюються в межах 50° для впуску та 40° для випуску.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

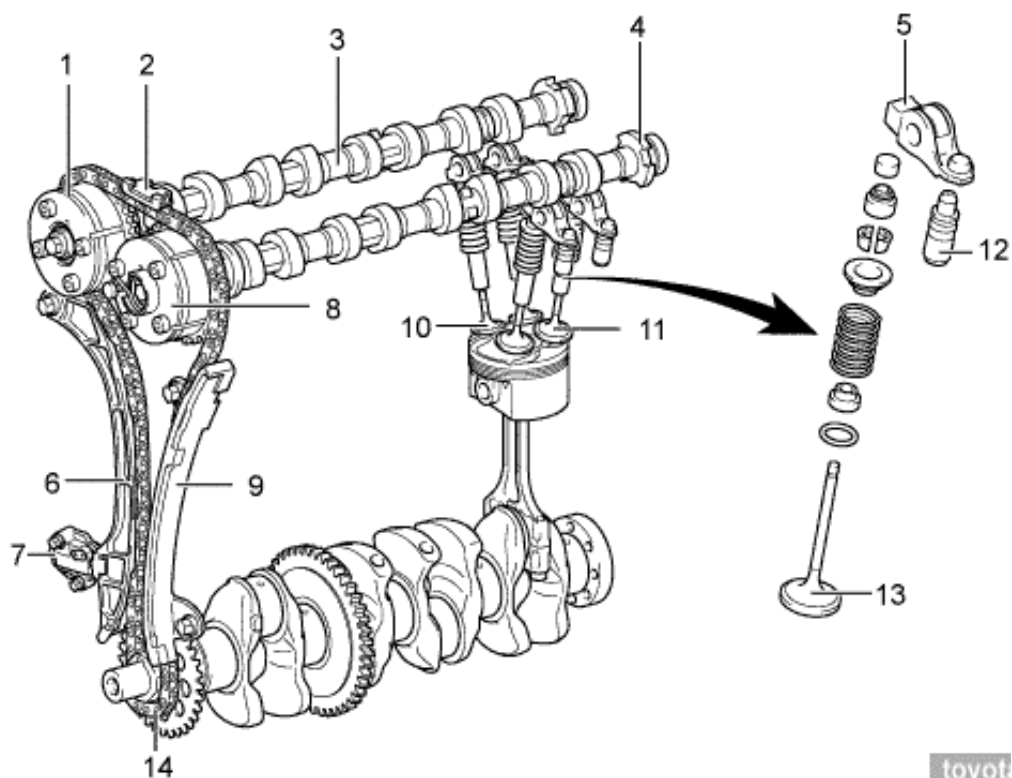


Рисунок 1.7 – Механізм газорозподілу:

1 – зірочка впускного розподільного валу; 2 – демпфер; 3 – впускний розподільний вал; 4 – випускний розподільний вал; 5 – рокер; 6 – черевик натягувача; 7 – натягувач ланцюга; 8 – зірочка випускного розподільного валу; 9 – заспокоювач; 10 – впускний клапан; 11 – випускний клапан

Шестеренний масляний насос циклоїдного типу встановлений у кришці ланцюга приводу ГРМ і наводиться безпосередньо від колінчастого валу. У блоці встановлені масляні форсунки охолодження та мастила поршнів.

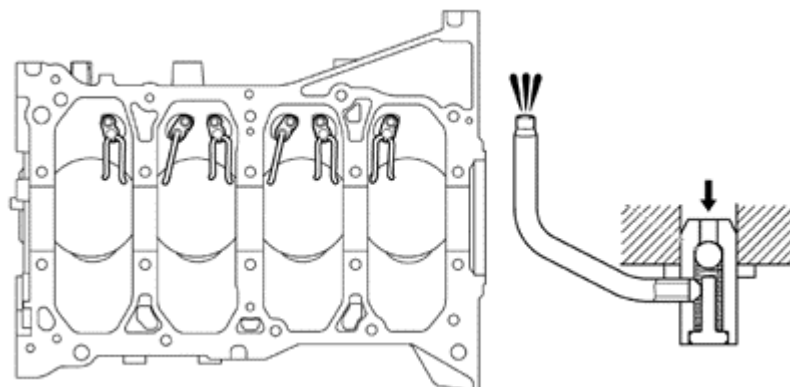


Рисунок 1.8 – Розташування масляних форсунок

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ

Аркуш

14

Система охолодження класична (рис. 1.9): привід помпи від зовнішнього боку ремня приводу навісних агрегатів, "холодний" (80-84°C) механічний термостат, корпус дросельної заслінки обігривається рідиною для протидії обмерзанню, традиційне ступінчасте управління вентиляторами радіатора.

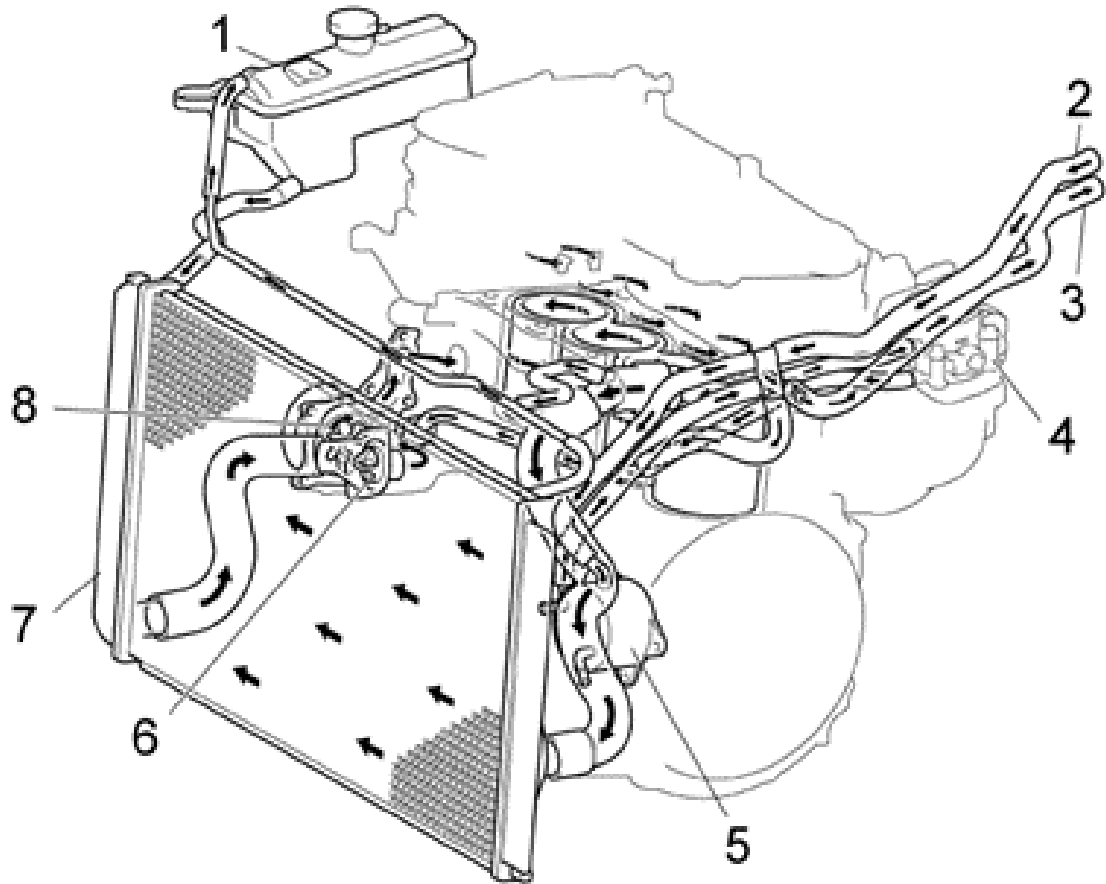


Рисунок 1.8 – Система охолодження:

1 – розширювальний бачок; 2 – від обігрівача; 3 – до обігрівача; 4 – корпус дросельної заслінки; 5 – нагрівач ATF; 6 – термостат; 7 – радіатор; 8 – насос охолоджуючої рідини

Система запалювання - традиційна DIS-4 (окрема котушка запалювання на кожен циліндр). Свічки запалювання - тонкі "іридієві" SK16HR11 з подовженою різьбовою частиною, під ключ на "14".

У системі зарядки використовуються генератори з сегментним провідником, з віддачею в 100 А. У системі запуску - нового зразка стартер

потужністю 1.7 кВт, з планетарним редуктором та сегментною обмоткою якоря, замість обмотки збудження встановлюються постійні магніти.

Привід навісних агрегатів – єдиним ременем, з окремим пружинним натягувачем.

					<i>КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Процеси паливоподачі в автомобільних двигунах внутрішнього згоряння є одним із ключових чинників, що визначають ефективність роботи силової установки, рівень шкідливих викидів, надійність та довговічність агрегатів, а також відповідність сучасним екологічним стандартам. Розвиток паливних систем не припиняється, оскільки двигуни внутрішнього згоряння продовжують залишатися домінуючим джерелом тяги у транспортній галузі, а вимоги до економічності та екологічності їх роботи постійно зростають. Саме тому аналіз методів удосконалення процесів паливоподачі є актуальним і потребує комплексного дослідження з урахуванням сучасних технічних рішень, тенденцій розвитку автомобілебудування та нових підходів у керуванні двигуном [3].

Удосконалення паливоподачі насамперед передбачає *оптимізацію процесу формування паливно-повітряної суміші*. Одним із ключових напрямів оптимізації є перехід на системи точного багатоточкового або безпосереднього впорскування палива. Розподілене впорскування MPI забезпечує достатньо рівномірне змішування палива з повітрям завдяки попередньому випаровуванню у впускному каналі, що сприяє утворенню однорідної суміші. Проте більш прогресивні системи безпосереднього впорскування GDI дозволяють гнучко керувати процесом сумішоутворення залежно від навантаження та режиму роботи двигуна. При низьких навантаженнях можливе утворення стратифікованої (шаруватої) суміші, коли багатша суміш формується безпосередньо поблизу свічки запалювання, що мінімізує витрату палива. На високих навантаженнях використовується однорідна суміш, яка забезпечує максимальну потужність і зменшує ризик детонації.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Наступним важливим аспектом є оптимізація структури та геометрії паливного факела. Вдосконалення конструкції форсунок спрямоване на зменшення розміру крапель, підвищення рівномірності розпилу та збільшення швидкості проникнення факела у камеру згоряння. Сучасні багатоструменеві форсунки формують складну просторову конфігурацію факела, що дозволяє спрямувати паливо в зони з максимальною турбулентністю та найкращими умовами для випаровування. Використання CFD-моделювання дає можливість аналізувати формування суміші у динаміці, враховуючи рух повітря, напрямки потоку, вихрові структури, ефект обертання повітря (swirl/tumble) та взаємодію факела зі стінками камери згоряння. На основі таких досліджень обирається оптимальна кількість отворів у розпилювачі, їх діаметр, кут розкриття та орієнтація.

Підвищення тиску впорскування також відіграє суттєву роль у покращенні сумішоутворення. Зростання тиску забезпечує дрібнішодисперсний розпил палива та інтенсивніше випаровування, що є особливо важливим у режимах холодного старту або при роботі на збіднених сумішах. Для бензинових систем GDI сучасні технології дозволяють досягати тиску понад 350–500 бар, що зменшує розмір крапель до мікронного діапазону й забезпечує майже миттєве утворення горючої суміші. У дизельних двигунах тиск у системах Common Rail досягає 2500–2700 бар, що дає змогу формувати надтонкий факел для швидкого сумішоутворення та чистішого згоряння.

Невід’ємною складовою оптимізації формування суміші є керування повітряним потоком у циліндрі. Геометрія впускних каналів, профіль клапанів, форма камери згоряння та дно поршня визначають структуру турбулентності та інтенсивність повітряних вихорів, що впливають на рівномірність змішування. Системи з регульованою геометрією впуску дозволяють змінювати напрямок і швидкість повітряного потоку залежно від навантаження, забезпечуючи оптимальні умови для випаровування палива. Наприклад, створення вихору типу tumble покращує однорідність суміші на

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

високих обертах, тоді як swirl забезпечує кращу стабільність згоряння на низьких навантаженнях. Такі методи сумішоутворення особливо ефективні у двигунах з прямим упорскуванням, де точність взаємодії паливного факела й повітряного потоку визначає рівень твердих частинок у відпрацьованих газах.

Важливою складовою оптимізації є також регулювання температурних умов у камері згоряння та впускному тракті. Температура стінок циліндра, клапанів, поршня та впускного повітря впливає на швидкість випаровування палива, формування суміші та стабільність займання. Використання інтеркулерів, систем керування температурою повітря, а також теплоізоляційних покриттів у камері згоряння дозволяє створити умови, за яких паливо випаровується більш рівномірно. Особливо актуальними є дослідження впливу низьких температур під час холодного старту, коли погане сумішоутворення спричиняє збільшення викидів HC та CO. Саме тому оптимізація температурних режимів має ключове значення для екологічної ефективності двигуна.

Алгоритми керування, що застосовуються у сучасних ЕБУ, забезпечують точне дозування та корекцію параметрів сумішоутворення у режимі реального часу. Електронні блоки використовують сигнали численних датчиків (MAF, MAP, датчик кисню, датчик тиску у рейці, температурні датчики, датчики детонації), що дозволяє адаптувати стратегію упорскування до фактичних умов. Адаптивні моделі та модельно-предиктивні алгоритми оптимізують момент упорскування, його тривалість, кількість імпульсів, а також співвідношення між розподіленим і прямим впорскуванням (у комбінованих системах). Це мінімізує утворення зон із багатою сумішшю, знижує ймовірність детонації та забезпечує максимальну ефективність згоряння.

Окремого значення набувають методи зменшення взаємодії палива зі стінками камери згоряння та впускного колектора. Скупчення палива на поверхнях, яке потім повільно випаровується, призводить до нерівномірності

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

суміші, погіршення екологічних показників і утворення твердих частинок. Удосконалення орієнтації факела, застосування антиадгезійних покриттів і систем попереднього підігріву впускного повітря сприяють зменшенню цього небажаного явища.

Наступним напрямом удосконалення паливоподачі є **підвищення тиску впорскування та точності регулювання цього параметра**. Тиск упорскування є одним із найважливіших параметрів, що визначають ефективність сумішоутворення та згоряння у двигунах внутрішнього згоряння. Оптимізація цього показника дозволяє контролювати розмір крапель, геометрію факела, швидкість випаровування й ступінь перемішування палива з повітрям. Високий тиск упорскування забезпечує тонкодисперсний розпил і підвищує стабільність роботи двигуна в динамічних режимах. Це особливо актуально для двигунів з прямим упорскуванням, де параметри тиску визначають можливість реалізації стратифікованого або однорідного сумішоутворення.

Підвищення тиску впорскування є одним із найефективніших методів удосконалення паливної апаратури. Для бензинових GDI-систем тиск у 350–500 бар дозволяє отримати надтонкий факел та покращити характеристики відтворюваності упорскування. Дизельні системи Common Rail із тиском до 2700 бар забезпечують надзвичайно дрібнодисперсний розпил, завдяки чому зменшуються викиди твердих частинок, покращується повнота згоряння та зростає ефективність роботи двигуна.

Однак підвищення тиску вимагає вдосконалення конструкції паливних насосів високого тиску, ущільнень, магістралей і систем регулювання. Тиск у магістралі повинен залишатися стабільним навіть під час різких змін навантаження. Саме тому сучасні системи використовують електронне керування насосами, клапанами регулювання подачі та датчиками високої точності, що забезпечують мінімальні коливання тиску.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Оптимізація тиску не обмежується лише його підвищенням. Важливим є динамічне керування тиском, коли система змінює тиск залежно від режимів роботи двигуна. На низьких навантаженнях можливе зниження тиску для зменшення шуму, збереження ресурсу форсунок і підвищення стабільності дрібних порцій упорскування. На високих навантаженнях тиск збільшується для формування потужного факела.

У сучасних стратегіях керування також використовуються методи мультиімпульсного упорскування, коли тиск підбирається індивідуально для кожного імпульсу. Це забезпечує унікальні можливості керування процесом сумішоутворення, зменшує ризик детонації та покращує відтворюваність згоряння.

Подальше вдосконалення процесів паливоподачі пов'язане з **оптимізацією форми та структури факела**. Оптимізація форми та структури паливного факела є одним із ключових напрямів удосконалення процесів сумішоутворення в сучасних автомобільних двигунах внутрішнього згоряння. Паливний факел визначає просторово-часовий розподіл крапель палива в камері згоряння, інтенсивність їх випаровування та ступінь змішування з повітрям. Від того, наскільки правильно сформовано факел, залежить повнота згоряння, рівень токсичних викидів, детонаційна стійкість двигуна, ефективність використання поданого палива та рівномірність роботи окремих циліндрів. Тому сучасне моторобудування приділяє значну увагу вдосконаленню геометрії й структури паливного факела.

Оптимізація факела починається з аналізу геометрії розпилювача форсунок, оскільки форма, діаметр, кількість та орієнтація отворів визначають початкову форму факела, швидкість виходу палива та напрямок його руху. Традиційні форсунок з трьома або чотирма отворами сьогодні поступаються місцем багатоструменевим конструкціям з 6–12 отворами. Це дозволяє краще заповнювати робочий простір циліндра, уникати надмірного зосередження палива в одній області та забезпечити більш однорідний розподіл палива у

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

фронті сумішоутворення. Орієнтація отворів під різними кутами дає змогу формувати просторово складний факел, який взаємодіє з повітряними вихорами у камері згоряння найбільш ефективним чином.

Однією з головних задач оптимізації факела є забезпечення відповідності між формою факела та структурою повітряного потоку. У сучасних двигунах використовуються різні типи вихрових рухів – swirl та tumble, які формують інтенсивні турбулентні зони. Якщо факел орієнтований так, щоб взаємодіяти з цими вихрами, сумішоутворення проходить значно швидше, краплі палива рівномірніше захоплюються потоком повітря та швидше випаровуються. Правильно орієнтований факел забезпечує стабільний фронт згоряння, зменшує циклові відхилення та позитивно впливає на економічність двигуна.

Оптимізація структури факела також передбачає мінімізацію контакту факела зі стінками камери згоряння та поверхнею поршня. Удар крапель об стінки призводить до їх розчавлення, утворення плівки палива та локальних зон збагачення суміші, які погано згорають і призводять до підвищення викидів НС та твердих частинок. Тому інженери прагнуть спрямовувати факел так, щоб він максимально ефективно розподіляв паливо у вільному об'ємі камери, не потрапляючи на холодні поверхні. Для цього використовуються асиметричні та косі струмені, а також спеціальні форми днища поршня, які відбивають потоки повітря так, щоб забезпечити їх взаємодію з факелом без втрат.

Значну роль у вдосконаленні форми факела відіграє регулювання моменту впорскування. Навіть оптимальна геометрія розпилювача не буде ефективною, якщо впорскування відбудеться у фазі циклу, коли умови в циліндрі не сприятливі для сумішоутворення. Наприклад, у двигунах з прямим впорскуванням бензину раннє впорскування може спричинити надмірний контакт факела зі стінками, тоді як надто пізнє – недостатній час випаровування та погане формування зони займання. Тому правильне

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

поєднання моменту впорскування та геометрії факела дає змогу забезпечити оптимальний баланс між швидкістю сумішоутворення та стабільністю згоряння.

Важливою складовою оптимізації форми факела є аналіз та управління дисперсністю крапель палива. Дрібнодисперсний факел має більшу площу поверхні, що забезпечує швидше випаровування та однорідність суміші. Однак надто дрібний факел може бути нестійким у сильних вихрових потоках, тоді як надто великий розмір крапель погіршує випаровування. Отже, форма факела повинна забезпечувати оптимальний баланс між дрібністю, швидкістю просування та стійкістю струменів у турбулентному середовищі.

Сучасні методи оптимізації включають використання CFD-моделювання (Computational Fluid Dynamics), яке дозволяє проаналізувати поведінку факела в реальних умовах роботи двигуна. Моделі враховують взаємодію палива з рухом повітря, температуру, тиск, турбулентність, рух поршня та положення клапанів. CFD-аналіз дає можливість визначити найкращу конфігурацію форсунок, підібрати оптимальні кути орієнтації струменів, оцінити можливість появи “мертвих зон” і зменшити кількість експериментальних спроб на етапі розробки.

Оптимізація факела також адаптується для альтернативних палив, які мають інші фізичні властивості: в'язкість, поверхневий натяг, температуру кипіння та швидкість випаровування. Наприклад, етанол потребує іншого профілю струменя, оскільки він випаровується повільніше за бензин, тоді як синтетичні палива мають інший спектр фракцій, що змінює характер початкового розпилю [4].

Удосконалення алгоритмів керування паливоподачею стало одним із ключових чинників розвитку ДВЗ у ХХІ столітті. Удосконалення алгоритмів керування паливоподачею є одним із ключових напрямів розвитку сучасних автомобільних двигунів внутрішнього згоряння. Система подачі палива сучасного ДВЗ давно перестала бути механічною або напівмеханічною; вона

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

перетворилась на високотехнологічний комплекс, робота якого залежить від точних електронних моделей, швидкодіючих процесорів, складних математичних алгоритмів і систем зворотного зв'язку. Ефективність, екологічність, динамічність та надійність двигуна значною мірою визначаються саме тим, наскільки точно й адаптивно працюють алгоритми керування сумішоутворенням та упорскуванням палива.

Основним завданням удосконалених алгоритмів керування є забезпечення оптимального складу паливно-повітряної суміші за всіх режимів роботи двигуна. Це включає холодний старт, прогрів, холостий хід, часткові та повні навантаження, прискорення, гальмування двигуном, перехідні процеси, а також режими екстремальної температури та зміни атмосферного тиску. Для кожного з цих режимів ЕКМ має забезпечити точний розрахунок маси палива, моменту та тривалості упорскування, кількості імпульсів і необхідної корекції, виходячи з умов роботи.

Удосконалення алгоритмів керування неможливе без застосування систем зворотного зв'язку, які дозволяють коригувати роботу форсунок у режимі реального часу. Сучасні алгоритми використовують дані від великої кількості датчиків: масової витрати повітря (MAF), тиску у впускному колекторі (MAP), температури охолоджувальної рідини, температури повітря, датчика кисню, датчика детонації, датчика тиску палива у рейці, швидкісних датчиків колінчастого та розподільчого валів. На основі цих даних алгоритми формують точну модель циклу згоряння та вносять корективи до тривалості імпульсу впорскування і положення моменту упорскування протягом кожного циклу.

Суттєвим напрямом удосконалення є впровадження багатofазного впорскування. Раніше впорскування здійснювалося у вигляді одного імпульсу з певною тривалістю, але сучасні алгоритми використовують розподіл подачі палива на кілька етапів: попереднє впорскування, основне впорскування та післявпорскування. Попередній імпульс дозволяє підготувати середовище в

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

камері згоряння, створити початкову зону сумішоутворення та зменшити різкий стрибок тиску під час займання. Основний імпульс забезпечує подачу необхідної кількості палива, а післявпорскування може використовуватися для доокиснення залишків палива, зниження шуму згоряння та зменшення викидів частинок. Ефективність такої стратегії значною мірою залежить від алгоритмів, які визначають оптимальний час і тривалість кожного імпульсу.

Важливу роль відіграють також алгоритми прогнозування та адаптації, які забезпечують здатність двигуна випереджати певні процеси та коригувати роботу залежно від зовнішніх умов. Удосконалені алгоритми, ґрунтовані на модельно-предиктивному керуванні (Model Predictive Control, MPC), оцінюють майбутні стани двигуна, враховуючи зміну навантаження, температуру, якість палива та навіть стиль водіння. Такі системи дозволяють оптимізувати паливоподачу не тільки для поточного циклу, а й з урахуванням прогнозованих змін у наступних.

Окремим аспектом удосконалення є компенсація зношення форсунок та зміни їхніх характеристик у процесі роботи. Зі збільшенням пробігу форсунки змінюють продуктивність, кут розпилу, швидкість реакції на імпульс. Сучасні ЕКМ здатні автоматично адаптувати роботу паливної системи, розпізнавати відхилення та вносити корекції в реальному часі. Така функція значно підвищує стабільність двигуна та зменшує потребу у ручному регулюванні.

Алгоритми керування також удосконалюються у контексті екологічних вимог, які стають дедалі жорсткішими. Для відповідності нормам Euro 6/7 та RDE (Real Driving Emissions) система паливоподачі повинна працювати з високою точністю навіть у нестабільних умовах реального руху: різких прискореннях, частих переходах між режимами, зміні температури й тиску. Саме тому алгоритми керування сьогодні включають функції швидкої адаптації, аналізу динамічних параметрів і компенсації помилок з урахуванням короткострокових і довгострокових корекцій.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Особливу увагу приділено алгоритмам контролю детонаційної стійкості двигуна, адже точний момент упорскування та форма факела є визначальними у запобіганні детонації. Сучасні ЕКМ аналізують сигнали датчиків детонації та автоматично коригують кут випередження й стратегію упорскування для підтримання оптимального режиму згоряння.

Значне місце в удосконаленні паливоподачі займають **методи зменшення утворення відкладень на форсунках і в камері згоряння**. Відкладення негативно впливають на геометрію факела, зменшують пропускну здатність форсунок, змінюють форму та напрямок струменя, погіршують випаровування палива й спричиняють нерівномірність сумішоутворення. У камері згоряння нагар знижує теплову ефективність, підвищує ризик детонації, сприяє локальному перегріву стінок та збільшує викиди шкідливих забруднювачів – насамперед NOx, HC та PM.

Тому вдосконалення методів запобігання утворенню відкладень є ключовим напрямом розвитку систем паливоподачі. Застосовувані методи охоплюють як конструктивні рішення, так і зміни у режимах керування впорскуванням, а також використання спеціальних хімічних і технологічних засобів [5].

Одним із найважливіших методів є удосконалення конструкції форсунок. Сучасні інжектори отримують спеціальні антиадгезійні покриття – нітрид титану, DLC (Diamond-Like Carbon), хромові та молібденові покриття, які зменшують прилипання частинок нагару до металевої поверхні. Такі покриття забезпечують гладку структуру вихідних отворів, знижують температуру розігріву форсунки та збільшують її стійкість до хімічної взаємодії з компонентами палива та продуктами згоряння. Особливо актуальними ці покриття є для GDI-форсунок, де розпилювач безпосередньо контактує з гарячими газами камери згоряння.

Конструктивні методи доповнюються оптимізацією температурних режимів. Підвищена температура сприяє швидкому утворенню лаку та

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

вуглецевих відкладень на форсунках. Тому сучасні двигуни використовують системи охолодження форсунок, контроль температури стінок камери згоряння та корекцію моменту упорскування так, щоб уникати надмірного теплового навантаження. У деяких конструкціях застосовуються спеціальні теплоізоляційні матеріали, що зменшують теплопередачу до корпусу форсунки.

Важливим напрямом боротьби з відкладеннями є оптимізація моменту й стратегії впорскування. Пізнє впорскування або впорскування біля стінок циліндра спричиняє утворення плівки палива, яка при неповному згорянні перетворюється на нагар. Тому сучасні алгоритми керування намагаються мінімізувати контакт факела зі стінками, коригуючи кут упорскування, момент відкриття форсунки та кількість імпульсів. Багатоімпульсне впорскування дозволяє формувати більш рівномірний факел і уникати ситуацій, коли надлишкова кількість палива потрапляє на поверхні з низькою температурою.

У системах з прямим упорскуванням поширеною практикою також є перемикання між режимами GDI та MPI (у комбінованих системах). Форсунки MPI менш схильні до коксування, оскільки працюють у холоднішому середовищі впускного тракту та не контактують з гарячими газами згоряння. Часткове використання MPI на малих і середніх навантаженнях дозволяє суттєво зменшити нагар на форсунках GDI. Саме тому комбіновані системи Dual Injection стали одним із найбільш ефективних методів боротьби з відкладеннями.

Істотну роль відіграють паливні присадки та детергенти, які вводяться у склад бензинів та дизельного палива. Високоефективні миючі присадки очищають вихідні отвори форсунок, покращують їх пропускну здатність та запобігають утворенню твердих відкладень. У сучасних паливах застосовують поверхнево-активні речовини, що знижують схильність вуглеводнів до полімеризації та осмолення. Введення хімічно активних компонентів у паливо

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

дозволяє очищати не тільки форсунки, а й камеру згоряння, клапани та впускні канали.

До найважливіших методів запобігання утворенню відкладень у камері згоряння належить керування температурою й складом суміші. Надмірно багата суміш сприяє утворенню сажі та нальоту, тоді як занадто збіднена суміш викликає високі пікові температури, що також збільшує кількість NOx і може спричинити утворення твердих частинок у режимах нестабільного згоряння. Тому сучасні ЕКМ реалізують адаптивний контроль над коефіцієнтом надлишку повітря λ , підтримуючи оптимальний баланс для чистого згоряння та мінімального утворення нагару.

Ще одним напрямом є удосконалення процесу рециркуляції відпрацьованих газів (EGR). Хоча EGR застосовується переважно для зниження NOx, правильно налаштована система також зменшує температуру згоряння, що знижує швидкість формування твердих частинок. Використання охолодженого EGR особливо ефективно в дизельних двигунах, де високі температури та надлишковий кисень сприяють інтенсивному нагароутворенню.

Методи зменшення відкладень також включають оптимізацію геометрії камери згоряння та днища поршня, що дозволяє уникати зон зі зниженим теплообміном, де паливо може конденсуватися та утворювати плівкові відкладення. Поліпшення аеродинаміки потоку всередині циліндра сприяє повнішому згорянню та зменшує кількість залишкового вуглецю.

Великий потенціал для вдосконалення паливоподачі **відкривають альтернативні та синтетичні палива** – біоетанол, метанол, синтетичні вуглеводні (e-fuels), суміші на основі водню, газові суміші. Такі палива мають відмінні фізико-хімічні характеристики, тому потребують нових методів упорскування, нової форми факела та нової системи керування. Наприклад, біоетанол має високе теплоспоживання при випаровуванні, що дозволяє зменшувати температуру у камері згоряння та знижувати схильність до

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

детонації, тоді як синтетичні палива забезпечують більш чисте згоряння та меншу кількість побічних продуктів. Усе це потребує глибокого наукового аналізу та розробки адаптивних систем упорскування [6].

Важливу роль відіграє і **вдосконалення конструкції паливних насосів високого тиску, регуляторів тиску, магістралей та фільтрувальних елементів**. Зменшення кавітаційних явищ, втрат тиску, нерівномірності подачі та вібрацій дозволяє підвищити точність керування масою впорскуваного палива. Нові матеріали, зокрема керамічні елементи та зносостійкі композити, збільшують ресурс паливної апаратури, зменшують тертя та підвищують стабільність параметрів при високих навантаженнях і температурах. Такі технологічні рішення особливо важливі для моторів зі збільшеним тиском упорскування та систем з плазмовим або лазерним контролем факела.

Окремий напрям удосконалення – **застосування комбінованих систем упорскування**, які поєднують переваги розподіленого та безпосереднього впорскування. Застосування комбінованих систем упорскування (Dual Injection або Combined Injection) є одним із найперспективніших напрямів удосконалення паливоподачі в сучасних автомобільних бензинових двигунах. Комбіновані системи поєднують переваги двох різних технологій – розподіленого упорскування у впускний канал (MPI) та безпосереднього упорскування у циліндр (GDI), що дає змогу забезпечувати оптимальне сумішоутворення за будь-яких режимів роботи двигуна. Використання подвійних систем упорскування дозволяє не тільки підвищити економічність, а й значно знизити рівень шкідливих викидів, покращити пускові властивості, зменшити утворення твердих частинок та забезпечити стабільність роботи двигуна в реальних умовах.

Основна ідея комбінованої системи полягає у розподілі функцій між інжекторами MPI та GDI. Форсунки розподіленого впорскування забезпечують попереднє випаровування палива у впускному каналі, що сприяє

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

утворенню однорідної суміші та зменшенню утворення частинок. Водночас форсунки прямого впорскування забезпечують високоточне дозування палива безпосередньо в камеру згоряння, що дозволяє реалізовувати стратифіковані суміші, покращувати термічну ефективність і контролювати процес згоряння при високих навантаженнях.

Однією з ключових переваг комбінованих систем є зменшення утворення твердих частинок (PM/PN), які є характерною проблемою двигунів із прямим упорскуванням. При роботі лише на GDI краплі палива можуть осідати на стінках камери згоряння, що призводить до утворення твердих частинок і забруднення вихлопу. У комбінованій системі на часткових та середніх навантаженнях більша частина палива подається через форсунки MPI, де воно встигає повністю випаруватися до потрапляння у циліндр. Це забезпечує значне зниження рівня PM, що є важливим у контексті сучасних норм Euro 6/7.

Комбіновані системи також покращують паливну економічність. На низьких і середніх навантаженнях двигун може працювати на збіднених або стехіометричних сумішах, при цьому, завдяки рівномірному сумішоутворенню у впускному каналі, досягається повне й чисте згоряння. На високих навантаженнях система перемикається на впорскування GDI або комбінований режим, де безпосереднє впорскування забезпечує достатню кількість палива, охолоджує заряд під час випаровування та збільшує детонаційну стійкість. Це дає змогу підвищувати ступінь стиснення, що в свою чергу покращує ККД двигуна.

Ще однією важливою перевагою є покращення холодного запуску та роботи двигуна під час прогріву. У режимах низьких температур паливо, що подається через GDI, випаровується повільно, утворює збагачені зони та може призводити до нестабільного згоряння. Використання інжекторів MPI у таких умовах значно полегшує формування суміші та покращує стійкість роботи

					<i>KPM.142.6221m.25.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

двигуна за рахунок рівномірного змішування палива з повітрям ще до потрапляння у циліндр.

Комбіновані системи також сприяють зменшенню навантаження на форсунки GDI, збільшуючи їх ресурс і зменшуючи ризик утворення відкладень на розпилювачах. Форсунки GDI у традиційних системах працюють майже весь час, що викликає коксування отворів, погіршення форми факела та зростання викидів. У комбінованій системі частину роботи бере на себе інжектор MPI, що продовжує ресурс високотехнологічних компонентів.

Суттєву роль відіграють алгоритми керування комбінованою системою упорскування. Електронний блок керування двигуном визначає оптимальне співвідношення між кількістю палива, що подається через MPI та GDI, залежно від навантаження, температури, обертів, стратегії згоряння, вимог до викидів і динаміки руху автомобіля. Алгоритми враховують безліч параметрів – температуру стінок циліндра, схильність до коксування, умови прогріву, детонаційну активність і реальні вимірювання складу вихлопу.

Комбіновані системи також покращують детонаційну стійкість двигуна, оскільки пряме впорскування палива дає можливість охолоджувати заряд у циліндрі. Це дозволяє підвищити ступінь стиснення, збільшити крутний момент та покращити ефективність на високих навантаженнях, тоді як система MPI забезпечує стабільність сумішоутворення у всьому діапазоні обертів.

Переваги комбінованих систем упорскування включають:

- зниження викидів твердих частинок;
- покращення паливної економічності;
- підвищення потужності та крутного моменту;
- стабільніший холодний запуск;
- зменшення коксування форсунок GDI;
- можливість роботи на збіднених сумішах;

					<i>KPM.142.6221м.25.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– підвищення надійності та довговічності системи паливоподачі.

З огляду на сукупність переваг комбіновані системи упорскування усе частіше застосовуються у конструкціях сучасних бензинових турбованих двигунів. Вони дають змогу виробникам досягати жорстких екологічних стандартів без значного ускладнення конструкції двигуна, забезпечують гнучку адаптацію до різних режимів руху та дозволяють оптимізувати сумішоутворення для максимальної ефективності [7].

Таким чином, аналіз методів удосконалення процесів паливоподачі демонструє комплексний характер цієї проблематики та необхідність системного підходу. Застосування комбінованих систем упорскування є високоефективним рішенням, що поєднує» кращі властивості розподіленого та прямого упорскування. Комбіновані системи стають одним із головних напрямів розвитку бензинових двигунів, забезпечуючи баланс між економічністю, потужністю та екологічністю, а також створюючи основу для подальшого впровадження адаптивних алгоритмів та інтелектуальних систем керування двигуном.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПАЛИВОПОДАЧІ ДВИГУНА 4Ч 9,0/9,8

Тепловий розрахунок двигуна 4Ч 9,0/9,8

Параметр	Значення
<i>Вихідні дані</i>	
Діаметр циліндра, м	0,09
Хід поршня, м	0,098
Частота обертання, хв ⁻¹	6000
Тактність	0,5
Число циліндрів	4
Тиск наддуву, МПа	0,1013
Тиск навколишнього середовища, МПа	0,1013
Температура навколишнього середовища, К	300
Показник політропи стиснення в компресорі	1,8
Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння	1,00
Коефіцієнт використання тепла в точці z	0,8
Коефіцієнт використання тепла в точці b	0,82
Ступінь стиснення	13
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	0,955
Механічний ККД двигуна	0,8
Втрата тиску в повітроохолоджувачі, МПа	0
Температура залишкових газів, К	700
Нижча теплота згоряння палива, кДж/кг	43960

Коефіцієнт дозарядки	1,04
Коефіцієнт продувки	0,25
Тиск в випускному колекторі, МПа	0,11
Вуглець С, %	0,855
Водень Н ₂ , %	0,145
Температура відхідних газів, К	700
<i>Розрахунок процесу наповнення</i>	
Температура повітря за компресором, К	300,000
Температура повітря в точці а, К	324,731
Тиск повітря в точці а, МПа	0,097
Коефіцієнт наповнення	0,984
Коефіцієнт залишкових газів	0,0098
<i>Розрахунок процесу стиснення</i>	
Теплоємність робочого тіла в точці с, кДж/(кмольК)	21,635
Середній показник політропи стиснення	1,375
Тиск наприкінці стиснення, МПа	3,287
Температура наприкінці стиснення, К	848,62
<i>Розрахунок процесу згоряння</i>	
Стехіометричне співвідношення	0,512
Кількість свіжого повітря, кмоль/кг	0,521
Кількість робочого тіла після процесу <u>сгоряння</u> , кмоль/кг	0,548
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	1,053
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	1,052
Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z	1,051
Максимальна температура згоряння, К	2781
Максимальний тиск згоряння, МПа	11,319
Ступінь підвищення тиску при згорянні	3,444

<i>Розрахунок процесу розширення</i>	
Середній показник політропи розширення	1,239
Температура наприкінці процесу розширення, К	927,925
Тиск наприкінці процесу розширення, МПа	0,472
<i>Індикаторні показники</i>	
Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа	1,358
Дійсний середній індикаторний тиск, МПа	1,304
Індикаторний ККД	0,386
Індикаторна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	0,212
<i>Ефективні показники</i>	
Середній ефективний тиск, МПа	1,043
Ефективний ККД двигуна	0,309
Ефективна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	0,265
Ефективна потужність двигуна, кВт	130,153

Модернізація системи паливоподачі двигуна 4Ч 9,0/9,8

На рис. 3.1 схематично показана принципову схему функціонування систем двигуна 4Ч 9,0/9,8. Зображено двигун 4Ч 9,0/9,8 10, що включає в себе чотири циліндри 112, з'єднані за допомогою відповідних впускних трубопроводів 20 із загальним вирівнювальним баком 30. Вирівнювальний бак 30 з'єднаний за допомогою впускного каналу 40 з повітряним фільтром 50. У впускному каналі 40 розташовані витратомір 42 повітря та дросельна заслінка 70, що приводиться в дію електродвигуном 60. Дросельна заслінка 70 має ступінь відкриття, що регулюється на підставі вихідного сигналу від електронного блока керування (ЕБК) 300 двигуна незалежно від педалі акселератора 100. Циліндри 112 приєднані до загального випускного колектора 80, який, у свою чергу, з'єднаний із трикомпонентним каталізатором 90.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

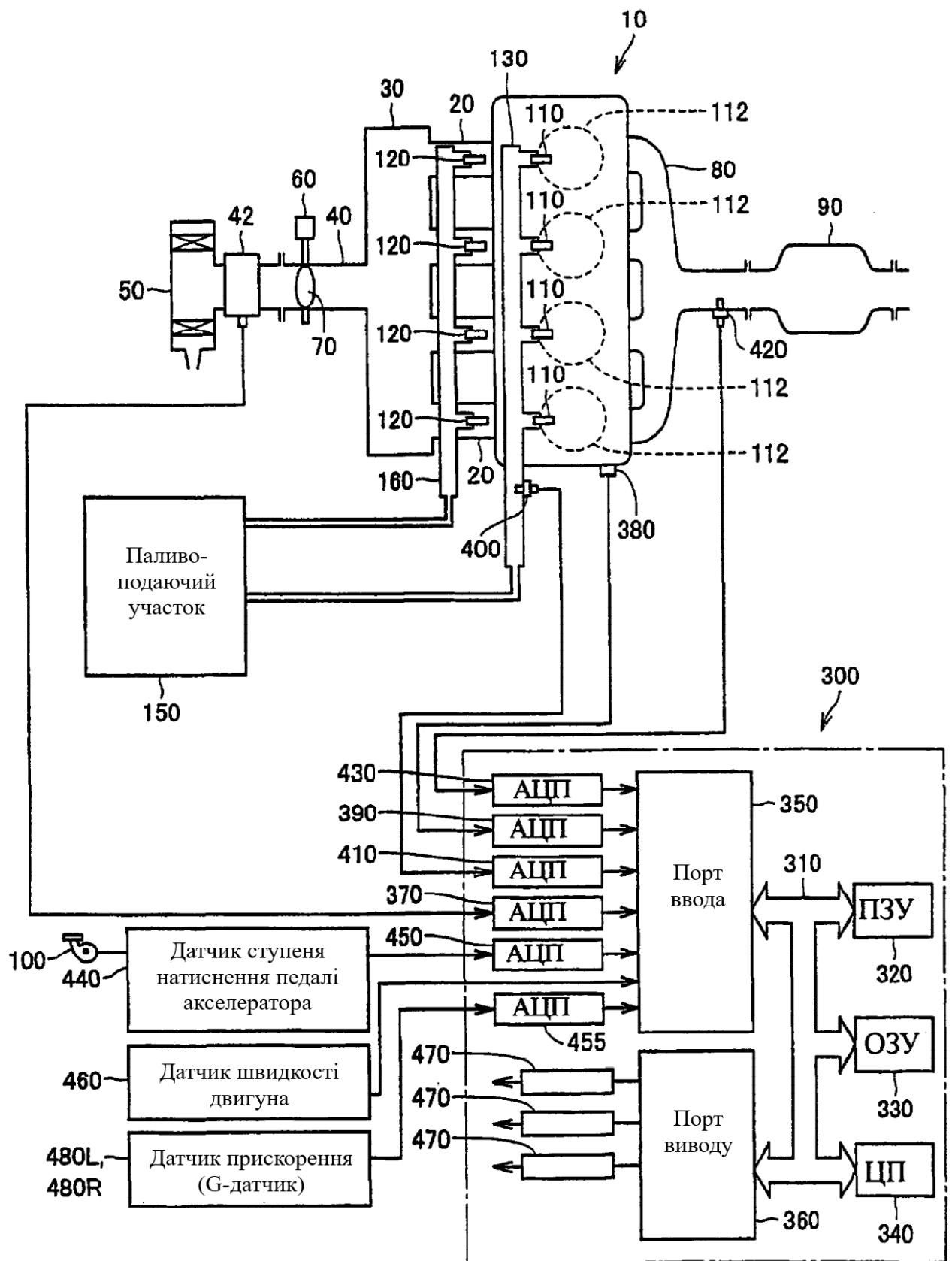


Рисунок 3.1 – Принципова схема функціонування систем двигуна

Для кожного циліндра 112 передбачено інжектор 110 у циліндрі для впорскування палива в циліндр та інжектор 120 у впускному колекторі для впорскування палива у впускний канал та/або впускний колектор. Інжектори 110 і 120 керуються на підставі вихідних сигналів електронного блока 300 керування двигуном. Інжектори 110 у циліндрах з'єднані із загальною паливною трубою (далі також – «труба високого тиску») 130, а інжектори 120 впускного колектора з'єднані із загальною паливною трубою (далі також – «труба низького тиску») 160. Подача палива до паливних труб 130 і 160 здійснюється за допомогою паливоподаючої секції 150, яка буде детально описана далі.

Паливна труба 160 низького тиску, паливоподаюча секція 150 і паливна труба 130 високого тиску утворюють пристрій подачі палива в системі двигуна, зображений на рис. 3.1.

Електронний блок 300 керування двигуном складається з цифрового комп'ютера, який містить ПЗП (постійний запам'ятовуючий пристрій) 320, ОЗП (оперативний запам'ятовуючий пристрій) 330, ЦП (центральний процесор) 340, порт 350 введення та порт 360 виведення, що з'єднані між собою двонаправленою шиною 310.

Витратомір 42 повітря створює вихідну напругу, пропорційну кількості всмоктуваного повітря, і вихідна напруга витратоміра 42 вводиться через аналого-цифровий перетворювач 370 у порт 350 введення. Датчик 380 температури охолоджувальної рідини приєднаний до двигуна 10 і створює вихідну напругу, пропорційну температурі охолоджувальної рідини двигуна. Вихідна напруга датчика 380 температури охолоджувальної рідини вводиться через аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 390 у порт 350 введення.

Датчик 400 тиску палива приєднаний до паливоподаючої труби 130 високого тиску і створює вихідну напругу, пропорційну тиску палива в паливоподаючій трубі 130 високого тиску. Вихідна напруга датчика 400 тиску палива вводиться через аналого-цифровий перетворювач 410 у порт 350

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

введення. Датчик 420 співвідношення компонентів паливоповітряної суміші приєднаний до випускного колектора 80 і розташований вище за потоком від трикомпонентного каталізаторного нейтралізатора 90. Датчик 420 співвідношення компонентів паливоповітряної суміші створює вихідну напругу, пропорційну концентрації кисню у відпрацьованих газах, і вихідна напруга датчика 420 співвідношення компонентів паливоповітряної суміші вводиться через аналого-цифровий перетворювач 430 у порт 350 введення.

Датчик 420 співвідношення компонентів паливоповітряної суміші в системі двигуна є повнофункціональним датчиком співвідношення компонентів паливоповітряної суміші (лінійним датчиком співвідношення компонентів паливоповітряної суміші), який створює вихідну напругу, пропорційну співвідношенню повітря до палива в паливоповітряній суміші, що згорає в двигуні 10. Як датчик 420 співвідношення компонентів паливоповітряної суміші може бути використаний кисневий датчик, який визначає двопозиційним способом, є співвідношення повітря до паливної суміші, що згорає в двигуні 10, багатим чи бідним відносно теоретичного співвідношення компонентів паливоповітряної суміші.

Педаць 100 акселератора з'єднана з датчиком 440 ступеня натискання акселератора, який створює вихідну напругу, пропорційну ступеню натискання педалі 100 акселератора. Вихідна напруга датчика 440 ступеня натискання педалі акселератора вводиться через аналого-цифровий перетворювач 450 у порт 350 введення. Датчик 460 швидкості двигуна, що генерує вихідний імпульс, який представляє швидкість двигуна, з'єднаний із портом 350 введення. Крім того, датчики прискорення (G-датчики) 480L, 480R, кожен з яких вимірює прискорення на ділянці, де він розташований, передають вихідну напругу, пропорційну виміряному прискоренню, на електронний блок 300 керування двигуном. Вихідні напруги датчиків 480L, 480R прискорення вводяться через аналого-цифровий перетворювач 455 у порт 350 введення.

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Постійний запам'ятовуючий пристрій 320 електронного блока 300 керування двигуном попередньо запам'ятовує, у формі схеми, значення кількостей упорскуваного палива, встановлені відповідно до робочих станів, на основі фактора навантаженості двигуна і швидкості двигуна, отриманих від датчика 440 ступеня натискання педалі акселератора і датчика 460 швидкості двигуна, відповідно, і коригувальних значень, оснований на температурі охолоджувальної рідини двигуна. Електронний блок 300 керування двигуном створює різні керуючі сигнали для регулювання загальної роботи системи двигуна, на основі сигналів відповідних датчиків шляхом виконання заданої програми. Керуючі сигнали передаються до пристроїв і контурів, що складають систему двигуна, через порт 360 виведення і задавальні схеми 470.

На рис. 3.2 показано конфігурацію пристрою подачі палива. Частини, які відрізняються від інжекторів 110 у циліндрах, паливоподаючої труби 130 високого тиску, інжекторів 120 у впускному колекторі та паливоподаючої труби 160 низького тиску, відповідають паливоподаючій секції 150 з рис. 3.1.

Паливний насос 170 низького тиску відбирає паливо з паливного бака 165 і подає його під заданим тиском (установленим значенням низького тиску). Паливо, що подається з паливного насоса 170 низького тиску, подається через паливний фільтр 175 і регулятор 180 тиску палива до паливної магістралі низького тиску. Паливний насос 170 низького тиску є електроприводним насосом, і час його спрацювання та кількість нагнітання (витрата) можуть регулюватися електронним блоком 300 керування двигуном.

Паливна магістраль низького тиску розгалужується в точці На на паливопровід 190, що проходить до паливоподаючої труби 160 низького тиску, і паливопровід 192, з'єднаний із паливним насосом 200 високого тиску. Регулятор 180 тиску палива відкривається, коли тиск палива в системі низького тиску починає підвищуватися, для утворення шляху, через який паливо в паливній магістралі низького тиску поблизу регулятора 180 тиску палива, тобто паливо, щойно нагнітальне паливним насосом 170 низького

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

тиску, повертається в паливний бак 165. Це дозволяє підтримувати тиск палива в паливній магістралі низького тиску на заданому рівні. Крім того, паливо, повернуте в паливний бак 165, є паливом, щойно відібраним з паливного бака 165, що запобігає підвищенню температури в паливному баку 165.

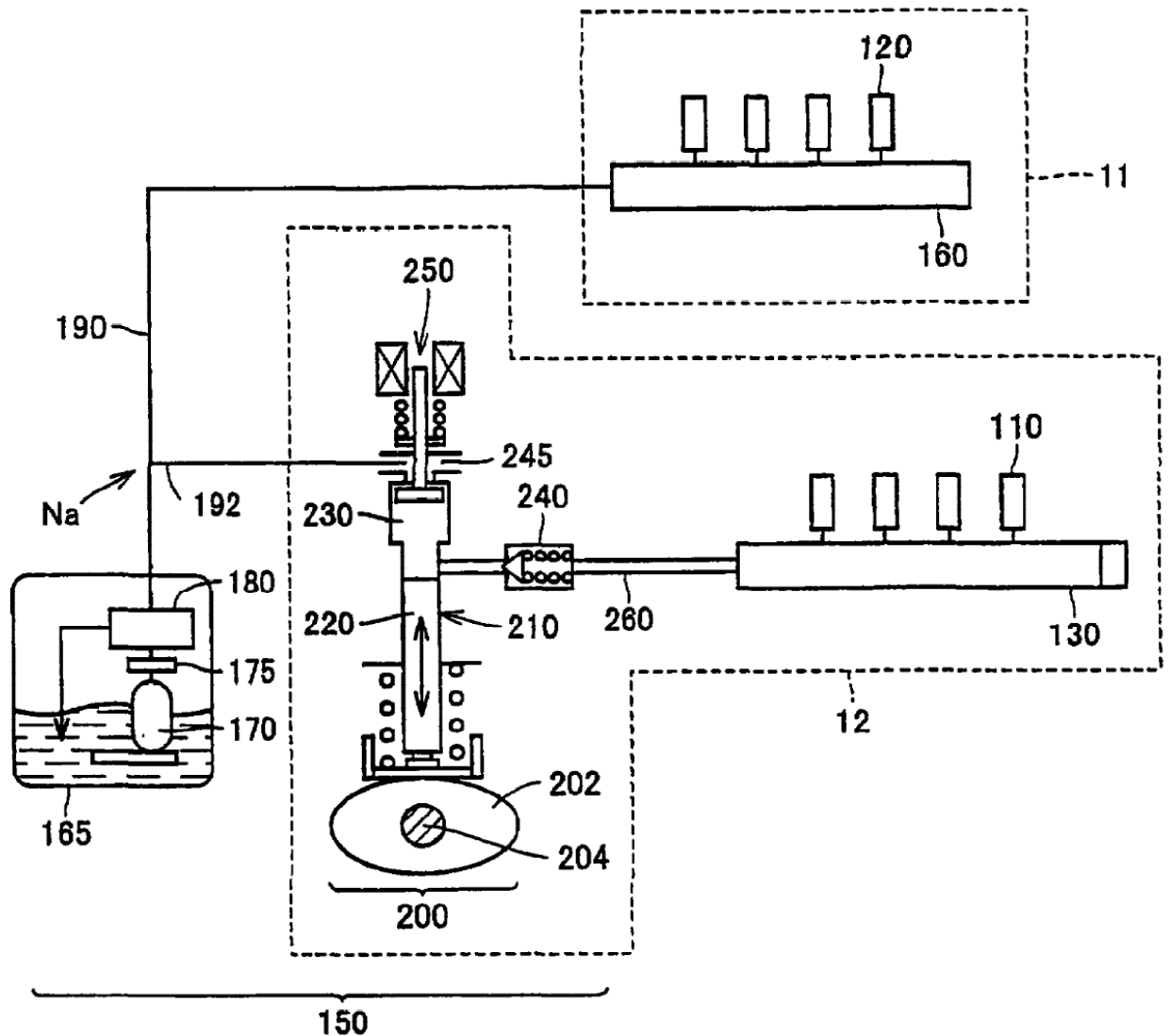


Рисунок 3.2 – Схема паливної системи двигуна

Паливний насос 200 високого тиску з приводом від двигуна приєднаний до головки циліндрів (не показано). У паливному насосі 200 високого тиску плунжер 220 всередині циліндра 210 насоса приводиться в дію зворотно-поступальним рухом за допомогою обертання насосного кулачка 202, який

встановлений на розподільчому валу 204 впускного клапана (не показано) або випускного клапана (не показано) двигуна 10. Паливний насос 200 високого тиску додатково включає насосну камеру 230 високого тиску, обмежену циліндром 210 насоса і плунжером 220, пропускний канал 245, з'єднаний із паливопроводом 192, та електромагнітний перепускний клапан 250, який служить дозувальним клапаном. Електромагнітний перепускний клапан 250 є клапаном, який контролює з'єднання/роз'єднання між пропускним каналом 245 і насосною камерою 230 високого тиску.

Сторона нагнітання паливного насоса 200 високого тиску приєднана паливною магістраллю 260 високого тиску до паливоподаючої труби 130 високого тиску, яка подає паливо до інжекторів 110 у циліндрах. Паливна магістраль 260 високого тиску оснащена зворотним клапаном 240, який запобігає зворотному потоку палива від паливоподаючої труби 130 до паливного насоса 200 високого тиску. Крім того, паливний насос 170 низького тиску, розташований у паливному баку 165, приєднаний до сторони всмоктування паливного насоса 200 високого тиску через паливопровід 192 і точку розгалуження Na.

Як показано на рис. 3.3, у такті всмоктування, коли величина підйому плунжера 220 одночасно зі зменшенням обертання кулачка 202 насоса зменшується, об'єм насосної камери 230 високого тиску збільшується зворотно-поступальним рухом плунжера 220. У такті всмоктування електромагнітний перепускний клапан 250 утримується у відкритому стані.

Відповідно до рис. 3.2 під час періоду відкриття електромагнітного перепускного клапана 250 пропускний канал 245 знаходиться у з'єднанні з насосною камерою 230 високого тиску, так що паливо проходить із паливопроводу 192 крізь пропускний канал 245 у насосну камеру 230 високого тиску в такті всмоктування.

Відповідно до рис. 3.3 у такті нагнітання, коли величина підйому плунжера 220 шляхом повороту кулачка 202 насоса збільшується, об'єм

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

насосної камери 230 високого тиску зменшується через зворотно-поступальний рух плунжера 220. У такті нагнітання електронний блок 300 керування двигуном контролює відкриття/закриття електромагнітного перепускного клапана 250.

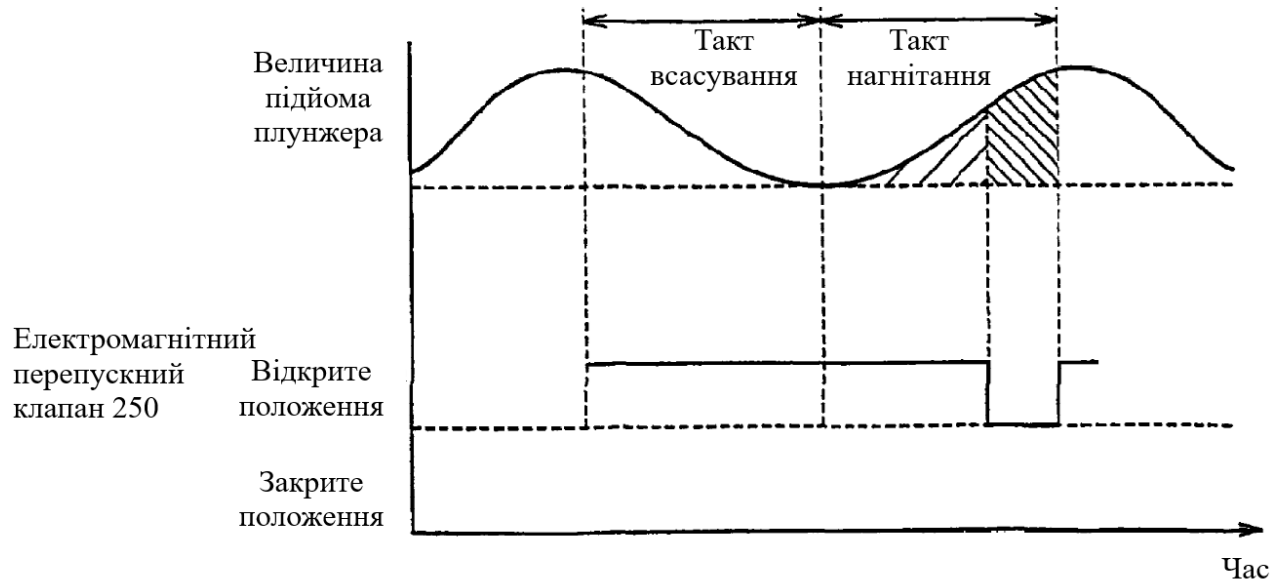


Рисунок 3.3 – Схема роботи паливного насосу

Як показано на рис. 3.2, під час відкриття електромагнітного перепускного клапана 250 на ході нагнітання пропускний канал 245 знаходиться у з'єднанні з насосною камерою 230 високого тиску. Таким чином, паливо, введене в насосну камеру 230 високого тиску, перетікає на сторону паливопроводу 192 через пропускний канал 245. Тобто паливо повертається назад до паливопроводу 192 через пропускний канал 245, а не подається через паливну магістраль 260 високого тиску до паливоподаючої труби 130.

Тим часом, при закритті електромагнітного перепускного клапана 250 пропускний канал 245 не з'єднаний з насосною камерою 230 високого тиску. Таким чином, паливо, стиснене під час такту нагнітання, подається через паливну магістраль 260 високого тиску до паливоподаючої труби 130, а не перетікає назад у пропускний канал 245.

Електронний блок 300 керування двигуном контролює періоди відкриття/закриття електромагнітного перепускного клапана 250 на підставі тиску палива, визначеного датчиком 400 тиску палива, та кількості впорскуваного палива, контрольованого електронним блоком керування. По суті, електронний блок 300 керування двигуном може контролювати кількість палива, стиснутого в паливному насосі 200 високого тиску та поданого в паливоподаючу трубу 130 високого тиску, для того, щоб регулювати, таким чином, тиск палива всередині паливоподаючої труби 130 високого тиску до заданого рівня.

Як описано вище, у паливоподаючому обладнанні, показаному на рис. 3.2, паливний насос 170 низького тиску традиційним чином подає паливо до паливоподаючої системи 11 низького тиску, що складається з інжекторів 120 у впускному колекторі та паливоподаючої труби 160 низького тиску, і до паливоподаючої системи 12 високого тиску, що складається з інжекторів 110 у циліндрах, паливоподаючої труби 130 високого тиску та паливного насоса 200 високого тиску. Це означає, що паливо, викинуте з паливного насоса 200 високого тиску назад у паливопровід 192, може викликати пульсацію тиску палива в паливоподаючій системі 11 низького тиску.

На рис. 3.4 показано перший приклад конфігурації паливопроводу в пристрої подачі палива. Як показано на рис. 3.4, у транспортному засобі, що включає пристрій подачі палива відповідно до цього винаходу, передні колеса 500 і двигун 10 розташовані у передній області 600F відносно центральної лінії 600 транспортного засобу, а задні колеса 510 і паливний бак 165 розташовані у задній області 600R. Паливний насос 170 низького тиску розташований у паливному баку 165 вбудованим чином, як також показано на рис. 3.2.

Паливоподаюча система 11 низького тиску, що включає паливоподаючу трубу 160 низького тиску, і паливоподаюча система 12 високого тиску, що включає паливний насос 200 високого тиску, також розташовані у передній

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

A cross-sectional view of a semiconductor device 600, taken along line 11-11. The device is divided into two main regions: 600F (upper) and 600R (lower). In the 600F region, a central structure 10 is surrounded by a layer 190. Above this, a structure 200 (12) is shown, which includes a central part 160b and side parts 160a. The 600R region contains a layer 192 and a central circular feature 170. The entire device is supported by a base 500, which is divided into two parts: 510 (left) and 511 (right). The base 500 is further divided into two sections: 650L (left) and 650R (right). The central part of the base is labeled 165. The device is also labeled with 11, 160a, 160b, 190, 192, 165, 170, 500, 510, 511, 600, 600F, 600R, and 650.

У пристрої подачі палива відповідно до варіанта здійснення цього винаходу точка На розгалуження між паливопроводом 190, який спрямовує паливо з паливного бака 165 (тобто паливо, подане з паливного насоса 170 низького тиску) до паливоподаючої системи 11 низького тиску, і паливопроводом 192, який спрямовує паливо з паливного бака 165 до

паливоподаючої системи 12 високого тиску, обладнана поблизу паливного бака 165.

Така конфігурація забезпечує більшу довжину труби між паливоподаючою системою низького тиску 11 і паливоподаючою системою 12 високого тиску або, точніше, від паливного насоса 200 високого тиску до паливоподаючої труби 160 низького тиску. У результаті можна подавити зміну тиску палива в паливоподаючій системі 11 низького тиску через паливо, викинуте з паливного насоса 200 високого тиску назад у паливопровід 192, і, таким чином, стабілізувати тиск палива у відповідних паливоподаючих системах 11 і 12. Слід зазначити, що кожний із паливопроводів 190 і 192 може бути розташований спіралеподібно або у складеній формі для забезпечення більшої довжини труби.

Крім того, у пристрої подачі палива відповідно до варіанта здійснення цього винаходу паливопровід 190 для паливоподаючої системи 11 низького тиску і паливопровід 192 для паливоподаючої системи 12 високого тиску розташовані у лівій області 650L і правій області 650R відповідно відносно центральної лінії 650 транспортного засобу. Альтернативно, паливопровід 192 і паливопровід 190 можуть бути розташовані у лівій області 650L і правій області 650R відповідно, протилежно розташуванню, показаному на рис. 3.4.

Коли один із паливопроводів 190, 192 розташований у лівій області 650L, а інший – у правій області 650R транспортного засобу, як описано вище, навіть якщо один із паливопроводів 190 або 192 пошкоджується через удар по стороні транспортного засобу, наприклад, інший паливопровід 192 або 190 може безперервно подавати паливо до відповідної паливоподаючої системи 12 або 11. Це дозволяє водію перевести транспортний засіб у безпечний режим або за допомогою інжекторів 110 у циліндрах, або за допомогою інжекторів 120 у впускному колекторі.

Додатково, клапани 700 і 702 відсічення палива можуть бути встановлені для паливопроводів 190 і 192 відповідно, як показано на рис. 3.5.

					<i>KPM.142.6221m.25.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Клапан 700 відсічення палива приводиться в дію у відповідь на керуючий сигнал GL від електронного блока 300 керування двигуном для відсічення подачі палива від паливного бака 165 до паливоподаючої системи 11 низького тиску. Подібним чином, клапан 702 відсічення палива приводиться в дію у відповідь на керуючий сигнал GR від електронного блока 300 керування двигуном для відсічення подачі палива від паливного бака 165 до паливоподаючої системи 12 високого тиску.

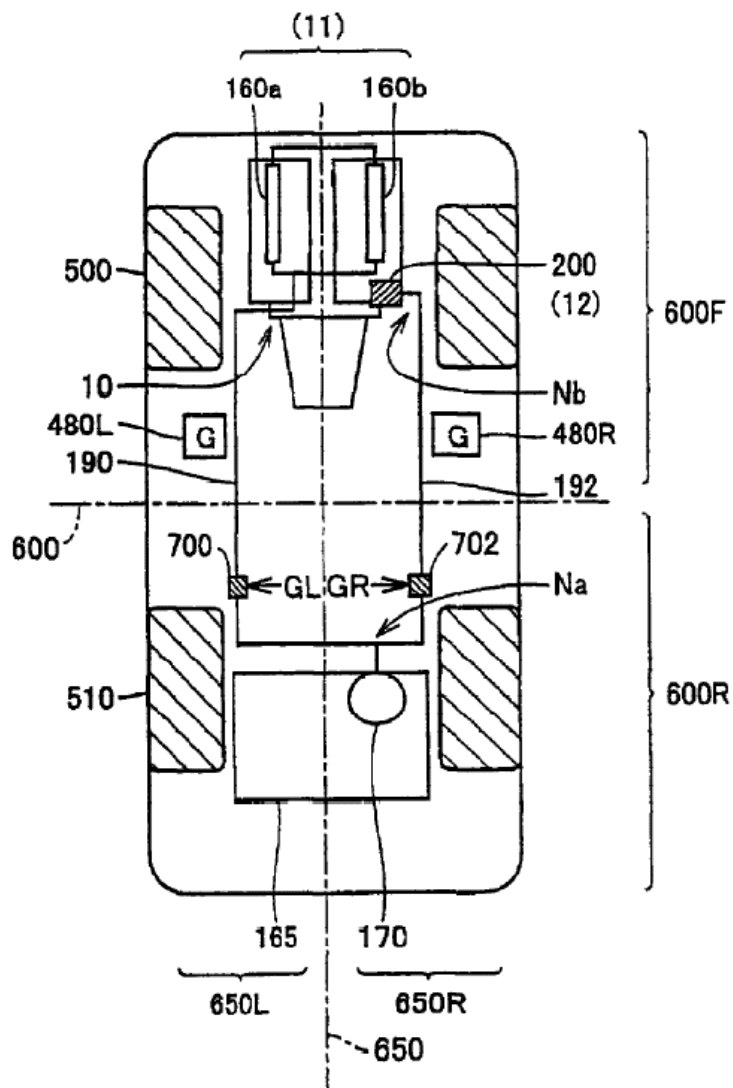


Рисунок 3.5 – Конфігурація паливопроводу №2

Керувальний сигнал GL видається тоді, коли прискорення, визначене датчиком 480L прискорення, розташованим у лівій області 650L транспортного засобу, досягає заданого або більшого значення. Подібним

чином керувальний сигнал GR видається тоді, коли прискорення, визначене датчиком 480R прискорення, розташованим у правій області 650R транспортного засобу, стає рівним або більшим за задане порогове значення. Це порогове значення встановлюється таким чином, щоб міг бути визначений удар по стороні транспортного засобу, що призводить до пошкодження паливопроводу 190 або 192.

За допомогою конфігурації, показаної на рис. 3.5, коли виникає удар по стороні транспортного засобу, клапан 700 або 702 відсічення палива на пошкодженій стороні може бути приведений у дію у відповідь на перевищення прискорення, визначеним датчиком 480L або 480R прискорення на відповідній стороні, порогового значення. По суті, можна автоматично виявляти виникнення удару по стороні транспортного засобу та подавляти виникнення витoku палива через пошкодження паливопроводів 190, 192 і/або паливоподаючої системи 11 низького тиску чи паливоподаючої системи 12 високого тиску на стороні, по якій було завдано удар. Незважаючи на те, що на рис. 3.5 як приклад показана конфігурація, у якій клапани 700, 702 відсічення палива передбачені для паливопроводів 190, 192, можливо забезпечення конфігурації, що має клапан відсічення палива лише для одного паливопроводу.

Згідно дослідних даних при використанні системи з безпосереднім впорскуванням та впорскуванням у впускний канал питома ефективна витрата палива зменшується на 1,5% (в нашому випадку на 4 г/(кВт×год) – з 265 до 261 г/(кВт×год)).

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						47
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 4Ч 9,0/9,8 (TOYOTA 2AR-FSE).

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники двигуна

Найменування	Позначення	Розмірність	Базовий двигун	Спроектований двигун
Потужність	N_e	кВт	130	130
Частота обертання	n	хв^{-1}	6000	6000
Діаметр циліндра, м	D	м	0,09	0,09
Хід поршня, м	S	м	0,098	0,098
Питома витрата палива	g_{ep}	кг/кВт·год	0,265	0,261
Механічний ккд	η_m	-	0,8	0,8
Питома витрата масла	g_m	кг/кВт·год	0,0022	0,0022
Ціна двигуна	C	грн	700000	726000
Ціна палива	$C_{п}$	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_{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

$$T = \frac{t_{кп}}{t}, \text{ рік}$$

3) Річні поточні витрати на паливо

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

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.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						50
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	88400,0	88400,0
Термін служби	T	рік	10,0	10,0
Річні поточні витрати на паливо	$Z_{\text{п}}$	грн	1405560,0	1384344,0
Річні поточні витрати на масло	$Z_{\text{м}}$	грн	9724,0	9724,0
Річні витрати на поточний ремонт	$Z_{\text{п.р}}$	грн	933,3	968,0
Річні витрати на капітальний ремонт	$Z_{\text{к.р}}$	грн	1527,3	1584,0
Річний економічний ефект у споживача	U_1	грн	1417744,6	1396620,0
	U_1^{16}	грн	1417744,6	-
Річний економічний ефект у споживача від використання спроектованого двигуна	$E_{\text{к}}$	грн	71498,2	
Додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна	ΔK	грн	26000,0	
Річна економія при експлуатації модернізованого двигуна	ΔS	грн	21124,6	
Час окупності модернізованого двигуна	$T_{\text{окуп}}$	рік	1,23	
		місяць	14,77	

Річний економічний ефект спроектованого двигуна в порівнянні з базовим двигуном за рахунок використання модернізованої паливної системи у розмірі 71498,2 грн. Заміна базового двигуна окупиться приблизно за 15 місяців.

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Експлуатація паливної системи сучасного автомобільного двигуна, що містить магістралі високого та низького тиску, електронно-керовані інжектори, паливні насоси двоступеневого типу, зворотні клапани, регулятори тиску та елементи безпеки, вимагає суворого дотримання вимог охорони праці. Така система працює під високими тисками, включає електричні компоненти, труби з циркуляцією пального, а також містить потенційно вибухонебезпечні рідини, що вимагає організації роботи персоналу відповідно до чинних нормативних документів та правил технічної безпеки [8].

Перше й основне завдання охорони праці при роботі з даною паливною системою полягає у забезпеченні пожежовибухобезпеки. Паливні магістралі, особливо високого тиску, працюють під значним навантаженням, а можливий їх розрив або витік можуть спричинити різке розпилення палива і виникнення пожежонебезпечної ситуації. Тому під час експлуатації системи забороняється виконання будь-яких робіт у зоні магістралей високого тиску при працюючому двигуні. Всі операції з огляду, заміни та технічного обслуговування мають проводитися лише після повного скидання тиску в системі, зупинки двигуна та відключення живлення паливного насоса низького тиску.

Особливу увагу необхідно приділяти стану паливопроводів низького і високого тиску. У конструкції цієї системи передбачено розгалуження магістралей (точка N_a), використання клапанів відсічення палива, а також прокладання трубопроводів у різних зонах автомобіля для підвищення безпеки при бічних ударах. Для персоналу важливо регулярно оглядати кріплення трубопроводів, стан їх зовнішньої поверхні, відсутність корозії, потертостей, механічних пошкоджень, тріщин у місцях вигинів або контакту з

					<i>KPM.142.6221m.25.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

кузовними елементами. Порушення цілісності хоча б одного елемента може спричинити витік палива, його займання або підвищення тиску в інших частинах системи.

Під час експлуатації системи необхідно враховувати наявність електромагнітних клапанів, регуляторів тиску, датчиків тиску та прискорення. Оскільки ці компоненти працюють на основі електричних сигналів та можуть знаходитися у зоні високих температур, до них висуваються вимоги електробезпеки. Забороняється проведення діагностичних робіт зі зняттям роз'ємів або вимірюванням напруги при ввімкненому двигуні без відповідного захисного обладнання. Роботи, пов'язані з електропроводкою, повинні виконуватися лише після від'єднання клеми акумулятора.

Особливе значення має контроль за температурним режимом паливної системи. Паливо, що повертається до баку після роботи регуляторів, може спричиняти локальний перегрів, а це збільшує ризик утворення парових пробок, вибухонебезпечних газів та займання. Тому персонал повинен стежити за справністю системи вентиляції паливного баку, регулярністю очищення фільтрів, належною роботою насоса низького тиску, який стабілізує температуру циркуляції палива.

Надзвичайно важливою є правильна організація робочого місця та забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту. При будь-якій роботі з елементами паливної системи необхідно використовувати захисні рукавички, окуляри, спецодяг із вогнестійких матеріалів. Поряд із робочим місцем повинні знаходитися первинні засоби пожежогасіння — вогнегасник порошкового або вуглекислотного типу, а також абсорбуючі матеріали для нейтралізації випадково пролитого палива.

Під час діагностування системи необхідно уникати створення іскроутворюючих умов. Забороняється виконання зварювальних робіт, робіт із відкритим вогнем, шліфування або різання поблизу паливних магістралей.

					<i>KPM.142.6221м.25.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Всі роботи повинні проводитися у добре вентильованих приміщеннях, які відповідають вимогам до зон з потенційно вибухонебезпечними сумішами.

Окремо слід враховувати автоматичну роботу системи безпеки, що включає датчики прискорення (G-датчики), які виявляють удари по стороні автомобіля та автоматично закривають клапани відсічення палива 700 і 702. Персонал повинен знати особливості конструкції такої системи, правила її діагностики та процедури перевірки працездатності. Несправність цих клапанів або їх електричних ланцюгів може призвести до неконтрольованої подачі палива після ДТП, що є надзвичайно небезпечним.

При технічному обслуговуванні системи необхідно суворо дотримуватися інструкцій виробника щодо перевірки паливних насосів високого й низького тиску, стану плунжерної пари, роботи перепускних та зворотних клапанів. Забороняється примусове випробування насоса високого тиску на максимальному тиску без спеціального стенда, оскільки це може спричинити вибухоподібний розрив магістралі або травмування персоналу.

Таким чином, забезпечення охорони праці при експлуатації сучасної паливної системи автомобільного двигуна охоплює комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на попередження пожеж, вибухів, витоків палива, ураження електричним струмом та травм, пов'язаних із роботою під високим тиском. Дотримання цих вимог гарантує безпечну роботу персоналу, попереджує аварійні ситуації та забезпечує надійне функціонування паливної системи протягом усього строку її експлуатації.

Екологічна безпека є одним із ключових аспектів експлуатації сучасної паливної системи автомобільного двигуна, зокрема систем, що містять магістралі низького та високого тиску, інжектори у впускному колекторі й у циліндрі, а також складні контури керування подачею палива. Ця система працює з легкозаймистими рідинами та продуктами згоряння, а будь-яке порушення її роботи може спричинити не лише ризики для персоналу, а й суттєвий негативний вплив на довкілля. Саме тому питання екологічної

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

безпеки повинні розглядатися комплексно — від процесів зберігання палива до утилізації відходів та контролю викидів.

Одним із головних екологічних ризиків є витоки палива з магістралей, особливо високого тиску. Потрапляння палива у ґрунт або водойми призводить до токсичного забруднення, яке може зберігатися тривалий час. У конструкції даної паливної системи передбачено низку елементів, спрямованих на мінімізацію таких ризиків: клапани відсічення палива 700 і 702, розташування паливопроводів у різних зонах транспортного засобу, датчики прискорення, що виявляють удари та автоматично блокують подачу палива. Працівники, що здійснюють технічне обслуговування, повинні регулярно перевіряти герметичність магістралей, цілісність з'єднань та відсутність корозії, оскільки навіть невеликий витік спричиняє не лише втрати палива, а й забруднення навколишнього середовища.

Важливу роль відіграє контроль за випаровуванням палива, оскільки пари бензину належать до летких органічних сполук (ЛОС), що беруть участь у формуванні приземного озону та фотооксидантів. Сучасні автомобільні паливні системи оснащуються адсорберами пари палива, системами EVAP та клапанами продувки, які повинні підтримуватися у справному стані. Будь-яке порушення в роботі цих елементів може збільшити викиди ЛОС у десятки разів. Персонал зобов'язаний перевіряти стан вентиляційних каналів, рівень забруднення адсорбера та відповідність роботи клапана продувки належним параметрам.

Крім того, екологічна безпека охоплює контроль викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах, оскільки паливна система безпосередньо впливає на процеси сумішоутворення та згоряння. Несправності у роботі інжекторів, регулятора тиску, насоса високого тиску або датчика співвідношення повітря та палива можуть призвести до збільшення викидів CO, NOx, незгорілих вуглеводнів та твердих частинок. Система повинна проходити регулярну діагностику на відповідність екологічним нормам,

					<i>KPM.142.6221м.25.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

включно з перевіркою роботи трикомпонентного каталізатора та датчиків кисню.

Окремим аспектом є питання утилізації паливних фільтрів, залишків палива та забруднених матеріалів. Під час технічного обслуговування паливної системи персонал зобов'язаний використовувати сертифіковані контейнери для збору залишків палива, зливати його лише у спеціально визначені ємності та передавати на утилізацію відповідно до вимог екологічного законодавства. Забороняється зливання палива в каналізаційні мережі, ґрунт або водойми.

Не менш важливим є забезпечення захисту атмосферного повітря робочої зони. Роботи з паливними магістралями повинні проводитися в добре вентильованих приміщеннях або на відкритому повітрі. Прилади, що створюють іскри чи нагріваються, необхідно розміщувати на безпечній відстані. У приміщеннях, де проводиться ремонт або діагностика, слід контролювати концентрацію парів бензину, оскільки їх накопичення становить пожежну та токсичну небезпеку.

До компонентів екологічної безпеки також належить запобігання вторинному забрудненню, яке може виникнути внаслідок розбризкування палива або втрати герметичності паливопроводів. У місцях проведення робіт необхідно використовувати абсорбуючі матеріали, піддони та захисні килимки, що перешкоджають потраплянню палива на поверхню землі або у водостоки. Забруднені матеріали мають передаватися на утилізацію в окремому контейнері.

Сучасні екологічні вимоги передбачають також мінімізацію шумового та вібраційного навантаження, оскільки паливні насоси та елементи високотискової системи можуть створювати додатковий шум. Конструкції кріплень повинні забезпечувати гасіння вібрацій, а персонал повинен контролювати правильність монтажу, що зменшує механічний вплив на навколишнє середовище.

					<i>KPM.142.6221м.25.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таким чином, екологічна безпека під час експлуатації паливної системи охоплює широкий комплекс заходів, спрямованих на запобігання забрудненню довкілля, зменшення викидів шкідливих речовин, безпечне поводження з паливом, його парами та відходами, а також забезпечення пожежної та загальної виробничої безпеки. Виконання цих вимог гарантує мінімальний негативний вплив транспортного засобу на екосистеми, відповідає сучасним екологічним стандартам та сприяє сталому й безпечному функціонуванню паливної системи протягом усього терміну її експлуатації.

Таблиця ризиків при експлуатації паливної системи

№	Вид ризику	Причини виникнення	Можливі наслідки	Заходи запобігання та мінімізації
1	Витік палива з магістралей високого тиску	Пошкодження трубопроводів, зношення з'єднань, удари по кузову, корозія	Пожежа, вибух, токсичне забруднення, ураження персоналу	Перевірка герметичності, заміна ущільнень, робота клапанів 700/702, розділення магістралей
2	Розрив магістралей низького тиску	Зношення матеріалу, перегини, механічні пошкодження	Витік, пожежа, забруднення довкілля	Використання сертифікованих шлангів, правильний монтаж
3	Перегрів паливного бака та магістралей	Повернення теплового палива, несправність вентиляції, забруднений фільтр	Парова пробка, ризик займання	Перевірка EVAP, очищення фільтрів, контроль насоса
4	Пошкодження системи під час ДТП	Бокові удари по кузову	Розрив трубопроводу, витік палива	G-датчики 480L/480R, автоматичне відключення клапанів 700/702
5	Несправність електромагнітних клапанів та регуляторів	Корозія, знос, коротке замикання	Надлишковий тиск, неправильна подача палива	Діагностика, заміна клапана, перевірка електричних ланцюгів
6	Займання парів бензину	Погана вентиляція,	Пожежа, вибух	Вентиляція, перевірка

		несправний адсорбер, гарячі роботи поруч		адсорбера, заборона вогневих робіт
7	Неправильна утилізація відходів палива та фільтрів	Злив у ґрунт або каналізацію, зберігання в неналежних умовах	Забруднення ґрунтів і вод, токсичний вплив	Використання контейнерів, передача на утилізацію
8	Пошкодження або корозія електричних роз'ємів	Волога, механічні пошкодження, помилки персоналу	Некоректна робота системи, збільшення викидів	Герметизація роз'ємів, огляд, відключення АКБ перед роботою
9	Ураження струмом під час діагностики	Робота під напругою, пошкоджені дроти	Травми персоналу	Від'єднання АКБ, ізольований інструмент
10	Розбризкування палива при втраті герметичності	Розкручування штуцера під тиском	Опіки, займання	Скидання тиску, ЗІЗ, акуратне роз'єднання з'єднань
11	Підвищені викиди шкідливих речовин	Несправні інжектори, датчики 420, неправильний тиск	Перевищення еконорм, шкода довкіллю	Діагностика, перевірка каталізатора, заміна інжекторів
12	Вібрації та шум роботи паливних насосів	Зношення демпферів, неправильне кріплення	Навантаження на кузов, шум	Правильний монтаж, заміна демпферів
13	Травмування під час роботи з насосом високого тиску	Тиск 150–300 бар, несправний клапан	Травми, розрив магістралей	Тестування тільки на стендах, перевірка клапана 250
14	Потрапляння палива на гарячі поверхні двигуна	Пошкоджені ущільнення, неправильний монтаж	Займання, задимлення	Контроль ущільнень, правильне прокладання трубок
15	Порушення вимог техніки безпеки персоналом	Недостатня підготовка, ігнорування інструкцій	Аварії, забруднення, травми	Інструктаж, контроль, ведення журналів ТО

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження, спрямоване на підвищення ефективності, економічності та екологічності роботи автотракторного двигуна 4Ч 9,0/9,8 шляхом удосконалення процесів паливоподачі та модернізації елементів паливної системи. Аналіз конструктивних особливостей силового агрегату, умов його застосування та призначення дозволив визначити ключові напрями, за якими можливе підвищення загальних техніко-економічних показників двигуна.

У першому розділі визначено технічні характеристики, конструктивні особливості та специфіку застосування двигуна на автомобілі Toyota Crown. Було встановлено, що сучасні вимоги до економічності, екологічності та надійності визначають потребу в оптимізації паливної системи та її перехід до більш технологічних рішень.

У другому розділі проведено детальний аналіз сучасних методів підвищення ефективності процесів сумішоутворення та згоряння в бензинових двигунах. Розглянуто особливості систем безпосереднього, розподіленого та комбінованого упорскування, вплив геометрії та тиску впорскування на якість паливного факела, а також роль алгоритмів керування ЕБУ у формуванні оптимальних умов роботи двигуна. Особливу увагу приділено питанням зменшення утворення твердих частинок, покращення випаровування палива та підвищення точності дозування.

У третьому розділі розроблено та запропоновано заходи з модернізації системи паливоподачі двигуна 4Ч 9,0/9,8. Обґрунтовано доцільність використання комбінованої системи упорскування, яка поєднує переваги розподіленого й безпосереднього впорскування та забезпечує зменшення викидів, покращення паливної економічності, стабільність холодного пуску та підвищення ресурсу форсунок високого тиску. Проведений тепловий

					КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

розрахунок підтвердив можливість підвищення термічної ефективності та поліпшення режимів згоряння.

У четвертому розділі виконано економічне обґрунтування впровадження запропонованих рішень. Встановлено, що модернізація забезпечує економічний ефект за рахунок зменшення питомої витрати палива, підвищення ресурсу елементів системи та зниження витрат на технічне обслуговування. Окупність модернізованої системи доведено для умов реальної експлуатації автомобіля.

У п'ятому розділі розглянуто питання забезпечення охорони праці під час експлуатації, технічного обслуговування та ремонту паливної системи. Наведено вимоги щодо безпечного поводження з паливом, діагностики систем високого тиску та запобігання аварійним ситуаціям. Окремо визначено комплекс заходів щодо мінімізації ризиків для обслуговуючого персоналу.

					<i>КРМ.142.6221м.25.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://www.automoli.com/uk/vehicles/toyota/crown/crown-xiv-athletes210-5877/>.
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.25.05.00.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		