

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
ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОВІТРОПОСТАЧАННЯ
АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ
ПОДВІЙНОГО НАДДУВУ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згорання

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ

Здобувач освіти



Роман МАЛЬОВАНІЙ

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

Мальований Роман Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вдосконалення системи повітропостачання автомобільного двигуна шляхом використання подвійного наддуву

2. Керівник роботи д.т.н., проф. Тимошевський Б.Г.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

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

3. Строк подання здобувачем роботи _____

4. Вихідні дані до роботи Двигун – 4ЧН 8,25/8,41 (Volkswagen EA888); паливо – бензин; потужність двигуна – 132 кВт, частота обертання колінчастого валу – 5100 хв⁻¹

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Особливості застосування двигуна 4ЧН 8,25/8,41 (Volkswagen EA888) на автомобільному транспорті; Сучасні напрямки вдосконалення систем повітропостачання автомобільних двигунів; Аналіз ефективності системи повітропостачання з подвійним наддувом для двигуна 4ЧН 8,25/8,41 (Volkswagen EA888); Забезпечення вимог охорони праці; Економічне обґрунтування

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вид двигуна 4ЧН 8,25/8,41; Поперечний переріз двигуна 4ЧН 8,25/8,41;
Схема системи подвійного наддуву; Блок-схема способу експлуатації системи
наддуву; Блок-схеми режимів роботи системи наддуву

7. Консультанти розділів роботи

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

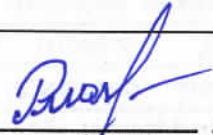
8. Дата видачі завдання _____

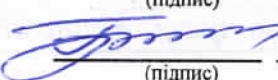
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ 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


 Роман МАЛЬОВАНІЙ
 (підпис) (прізвище та ініціали)


 Борис Тимошевський
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення роботи системи повітропостачання автомобільного двигуна шляхом використання подвійного наддуву. Розглянуто економічне обґрунтування. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 64 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 9 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: бензиновий двигун, наддув, турбіна, компресор.

The qualification work presents a set of measures to improve the air supply system of a car engine through the use of twin turbocharging. The economic justification was considered. Measures to ensure occupational safety are also provided.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 64 pages of explanatory note. 9 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1.

Key words: gasoline engine, supercharging, turbine, compressor.

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

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Особливості застосування двигуна 4ЧН 8,25/8,41 (Volkswagen EA888) на автомобільному транспорті.....	5
Розділ 2. Сучасні напрямки вдосконалення систем повітропостачання автомобільних двигунів.....	22
Розділ 3. Аналіз ефективності системи повітропостачання з подвійним наддувом для двигуна 4ЧН 8,25/8,41 (Volkswagen EA888).....	33
Розділ 4. Економічне обґрунтування.....	51
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	55
Висновки.....	62
Список використаної літератури.....	64
Додаток А. Загальний вид двигуна 4ЧН 8,25/8,41.....	65
Додаток Б. Поперечний переріз двигуна 4ЧН 8,25/8,41.....	66
Додаток В. Схема системи подвійного наддуву.....	67
Додаток Г. Блок-схема способу експлуатації системи наддуву.....	68
Додаток Д. Блок-схеми режимів роботи системи наддуву.....	69

ВСТУП

Сучасний етап розвитку автомобільної техніки характеризується жорсткими вимогами до паливної економичності, екологічної безпеки та динамічних показників двигунів внутрішнього згоряння. У цих умовах система повітропостачання відіграє визначальну роль, оскільки саме вона забезпечує формування повітряного заряду, від якого безпосередньо залежать повнота згоряння палива, ефективна потужність двигуна, рівень токсичності відпрацьованих газів та загальна надійність силової установки. Тому дослідження, спрямовані на вдосконалення системи повітропостачання автомобільного двигуна, є актуальними та мають важливе науково-практичне значення.

Мета даної роботи – розробити умови по поліпшенню параметрів роботи двигуна 4ЧН 8,25/8,41 (Volkswagen EA888) шляхом вдосконалення системи повітропостачання.

Задачі що вирішуються у роботі:

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

Об'єкт дослідження – система повітропостачання.

Предмет дослідження – параметри системи повітропостачання.

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

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА 4ЧН 8,25/8,41 (VOLKSWAGEN EA888) НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Сімейство двигунів EA888 від Volkswagen Group – це одна з найвідоміших і найпоширеніших лінійок бензинових турбованих моторів, що застосовуються в автомобілях Volkswagen, Audi, Skoda та Seat. Ці двигуни, які прийшли на зміну більш раннім серіям, таким як EA113 (1.8T), поєднують високу продуктивність, економічність і сучасні технології.

EA888 – це серія 4-циліндрових турбованих бензинових двигунів робочим об'ємом 1,8 та 2,0 л. Уперше представлені у 2006 році, вони належать до сімейства двигунів із безпосереднім упорскуванням палива (TSI) та турбонаддувом. EA888 став основою для більшості сучасних моделей концерну VAG. Двигуни EA888 цінуються за універсальність, потужність і економічність, однак їхня надійність залежить від покоління та умов експлуатації [1].

Сімейство EA888 пройшло кілька етапів еволюції, кожен з яких приніс покращення надійності, економічності та екологічності. Нижче наведено основні покоління.

1. EA888 Gen 1 (2006–2010)

Коди двигунів: BYT, BZB, CAWA, CAWB, CBFA, CCTA.

Особливості: перше покоління з ланцюговим приводом ГРМ, турбонаддувом (K03) і безпосереднім упорскуванням. Використовувався чавунний блок циліндрів.

Потужність: 160–211 к.с. (2.0 TSI), 120–170 к.с. (1.8 TSI).

Застосування: VW Golf V, Passat B6, Audi A3 (8P), Skoda Octavia A5.

Проблеми: підвищена витрата масла, зношування ланцюга ГРМ, відмови натягувача, нагар на клапанах.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2. EA888 Gen 2 (2008–2013)

Коди двигунів: CAEA, CAEB, CCZA, CCZB, CDNB, CDNC.

Особливості: удосконалена конструкція поршнів і масляної системи, доопрацьований натягувач ланцюга ГРМ, регулювання фаз газорозподілу на впуску та випуску.

Потужність: 170–270 к.с. (2.0 TSI), 120–180 к.с. (1.8 TSI).

Застосування: VW Golf VI, Tiguan I, Audi A4 (B8), Skoda Superb II.

Проблеми: підвищена витрата масла (хоч і менший, ніж у Gen 1), проблеми з ланцюгом ГРМ, зношування турбіни за високих навантажень.

3. EA888 Gen 3 (2011–2018) (табл. 1.1)

Коди двигунів: CHNB, CHNC, CJSA, CJSB, CJEB, CNCD.

Особливості: подвійне упорскування (MPI + FSI для окремих ринків), ремінний привід ГРМ у деяких версіях, удосконалена система охолодження, алюмінієвий блок у низці модифікацій.

Потужність: 180–310 к.с. (2.0 TSI), 160–190 к.с. (1.8 TSI).

Застосування: VW Golf VII, Passat B8, Audi A3 (8V), Skoda Octavia A7.

Проблеми: значно менша витрата масла, однак можливі несправності термостата, водяного насоса та клапана EGR.

4. EA888 Gen 3B (2016 – дотепер)

Коди двигунів: CZPA, CZPB, DKZA, DNUE.

Особливості: ремінний привід ГРМ, оптимізована турбіна, балансирні вали, покращена паливна економічність, відповідність нормам Euro 6.

Потужність: 190–320 к.с. (2.0 TSI), 180–190 к.с. (1.8 TSI).

Застосування: VW Tiguan II, Golf VII GTI/R, Audi A4 (B9), Skoda Kodiaq.

Проблеми: поодинокі випадки нагару на клапанах, вимогливість до якості моторної оливи та палива.

Переваги двигунів EA888

Двигуни EA888 здобули популярність завдяки низці сильних сторін:

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Висока продуктивність: потужність від 120 до 320 к.с. забезпечує відмінну динаміку для міських і спортивних моделей.
- Економічність: витрата палива 6...9 л/100 км (залежно від моделі та умов експлуатації) завдяки турбонаддуву й безпосередньому упорскуванню.
- Універсальність: підходять для компактних хетчбеків (Golf, Octavia), кросоверів (Tiguan, Q3) і преміальних седанів (Audi A4).
- Потенціал для тюнінгу: легко форсуються до 300...400 к.с. за допомогою чип-тюнінгу, заміни турбіни та інтеркулера.
- Довговічність за правильного догляду: ресурс 200...300 тис. км для Gen 3/3B за умови своєчасної заміни масла (кожні 7...10 тис. км) та використання якісного палива.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики двигуна 4ЧН 8,25/8,41 (1,8 л)

Параметр	CJEB	CJSA	CJSB
Буквене позначення двигуна	CJEB	CJSA	CJSB
Схема встановлення	поздовжня	поперечна	поперечна
Робочий об'єм, см ³	1798	1798	1798
Потужність, кВт при об/хв	125 при 3800–6200	132 при 5100–6200	132 при 4500–6200
Крутний момент, Н·м при об/хв	320 при 1400–3700	250 при 1250–5000	280 при 1350–4500
Діаметр циліндра, мм	82,5	82,5	82,5
Хід поршня, мм	84,1	84,1	84,1
Ступінь стиснення	9,6 : 1	9,6 : 1	9,6 : 1
Колінчастий вал	–	–	–
Діаметр корінних шийок, мм	48	48	48
Система керування двигуном	–	–	–
Паливо, октанове число	95	95	95
Максимальний тиск упорскування, бар	–	–	–
Викиди CO ₂ , г/км	–	–	–
Екологічний клас	Євро 5	Євро 5 plus	Євро 5 plus
Порядок роботи циліндрів	1–3–4–2	1–3–4–2	1–3–4–2
Регулювання детонації	є	є	є
Наддув	є	є	є
Рециркуляція ОГ	внутрішня (регулювання фаз газорозподілу)	внутрішня (регулювання фаз газорозподілу)	внутрішня (регулювання фаз газорозподілу)

Заслінки впускного колектора	є	є	є
Регулювання фаз газорозподілу впускних клапанів	є	є	є
Регулювання фаз газорозподілу випускних клапанів	є	є	є
Форсунки безпосереднього упорскування (FSI)	є	є	є
Форсунки упорскування у впускний колектор (MPI)	є	є	є
Система прискореного прогріву нейтралізатора (подачі вторинного повітря)	немає	немає	немає
Система керування підйомом випускних клапанів Audi Valvelift System (AVS)	є	є	є
Поворотний золотник	є	є	є
Регульований масляний насос	є	є	є
Нахилені заслінки впускних каналів	є	є	є
Вихрові заслінки впускних каналів	немає	немає	немає

Під час розроблення двигунів сімейства третього покоління (рис. 1.1) вдалося досягти зменшення маси приблизно на 7,8 кг.

З цієї метою було модернізовано або вперше застосовано такі вузли:

- тонкостінний блок циліндрів, відмова від окремого масло-відділювача грубого очищення;
- головка блока циліндрів та турбонагнітач;
- колінчастий вал (зменшений діаметр корінних шийок, чотири противаги);
- верхня частина масляного піддона, виготовлена методом лиття під тиском з алюмінію (включно з алюмінієвими болтами);
- нижня частина масляного піддона з пластмаси;
- алюмінієві болти;

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

- балансирні вали (частина опор виконана з роликівими підшипниками).



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд двигуна

Блок циліндрів (рис. 1.2) було перероблено практично повністю. Основним завданням при цьому знову стало зниження його маси, для чого товщину стінок було зменшено з 3,5 мм до 3,0 мм. Крім того, масло-відділювач грубого очищення тепер виконано як складову частину блока циліндрів. У цілому, порівняно з двигуном другого покоління, масу блока циліндрів вдалося зменшити на 2,4 кг. Також було знижено втрати на

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

внутрішнє тертя, головним чином за рахунок зменшення діаметра корінних шийок (опор) колінчастого вала та модернізації опор балансирних валів.

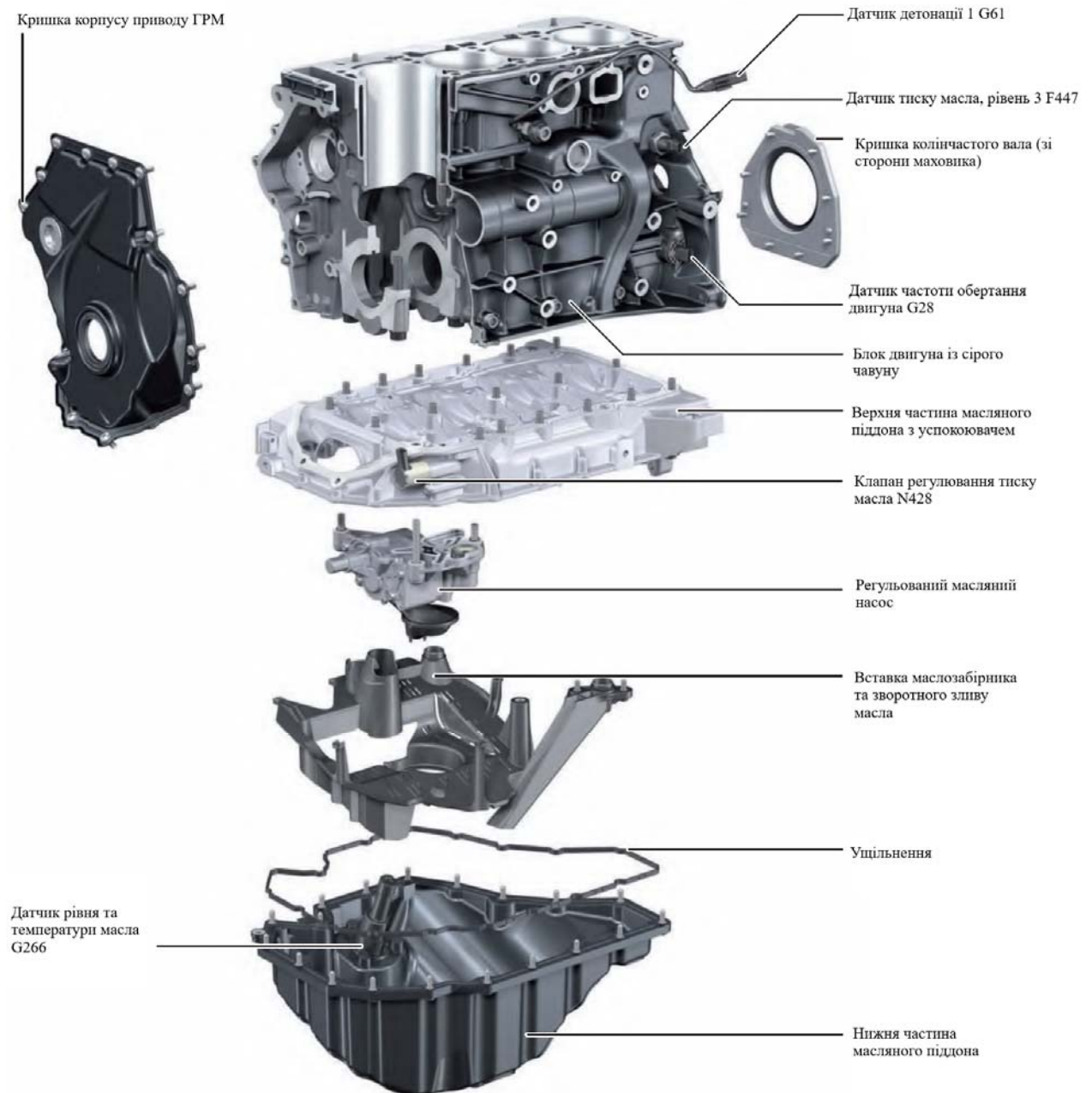


Рисунок 1.2 – Блок циліндрів

Інші зміни порівняно з двигунами другого покоління:

- другий напірний масляний канал з «холодного» боку для електрично вимикальних форсунок охолодження поршнів;
- зміна перерізів зворотних каналів охолоджувальної рідини та масла;
- модифікована подовжена сорочка охолодження;

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

- подача охолоджувальної рідини до масляного радіатора через зворотний канал ОЖ для головки блока циліндрів;
- змінене розташування датчиків детонації;
- модернізовані опори балансірних валів.

Верхня частина масляного піддона виготовляється з алюмінію методом лиття під тиском. До верхньої частини масляного піддона болтами кріпляться масляний насос і комірчаста вставка для забору та зворотного зливу масла. У ній також розміщені напірні масляні канали та клапан керування масляним насосом, який має двоступеневе регулювання.

Ущільнення стику з блоком циліндрів виконується за допомогою рідкого герметика. Для кріплення використовуються алюмінієві болти.

Для додаткового покращення акустичних характеристик агрегату до верхньої частини масляного піддона болтами кріпляться кришки корінних опор.

Нижня частина масляного піддона виготовлена з пластмаси, що дозволило зменшити масу двигуна приблизно на 1,0 кг.

Герметизація стику забезпечується фасонним гумовим ущільненням, кріплення виконується сталевими болтами.

У нижній частині масляного піддона встановлено датчик рівня та температури масла G266.

Пробка для зливу масла також виготовлена з пластмаси та має байонетне з'єднання.

Основним завданням під час модернізації кривошипно-шатунного механізму (рис. 1.3) було зменшення маси та втрат на тертя.

У *поршневій групі* було збільшено зазор між поршнем і дзеркалом циліндра з метою зменшення втрат на тертя у фазі прогріву. Крім того, на юбку поршня тепер наноситься зносостійке покриття.

Верхнє поршневе кільце – конічне; на двигуні 2,0 л – прямокутне, з асиметричною опуклістю.

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

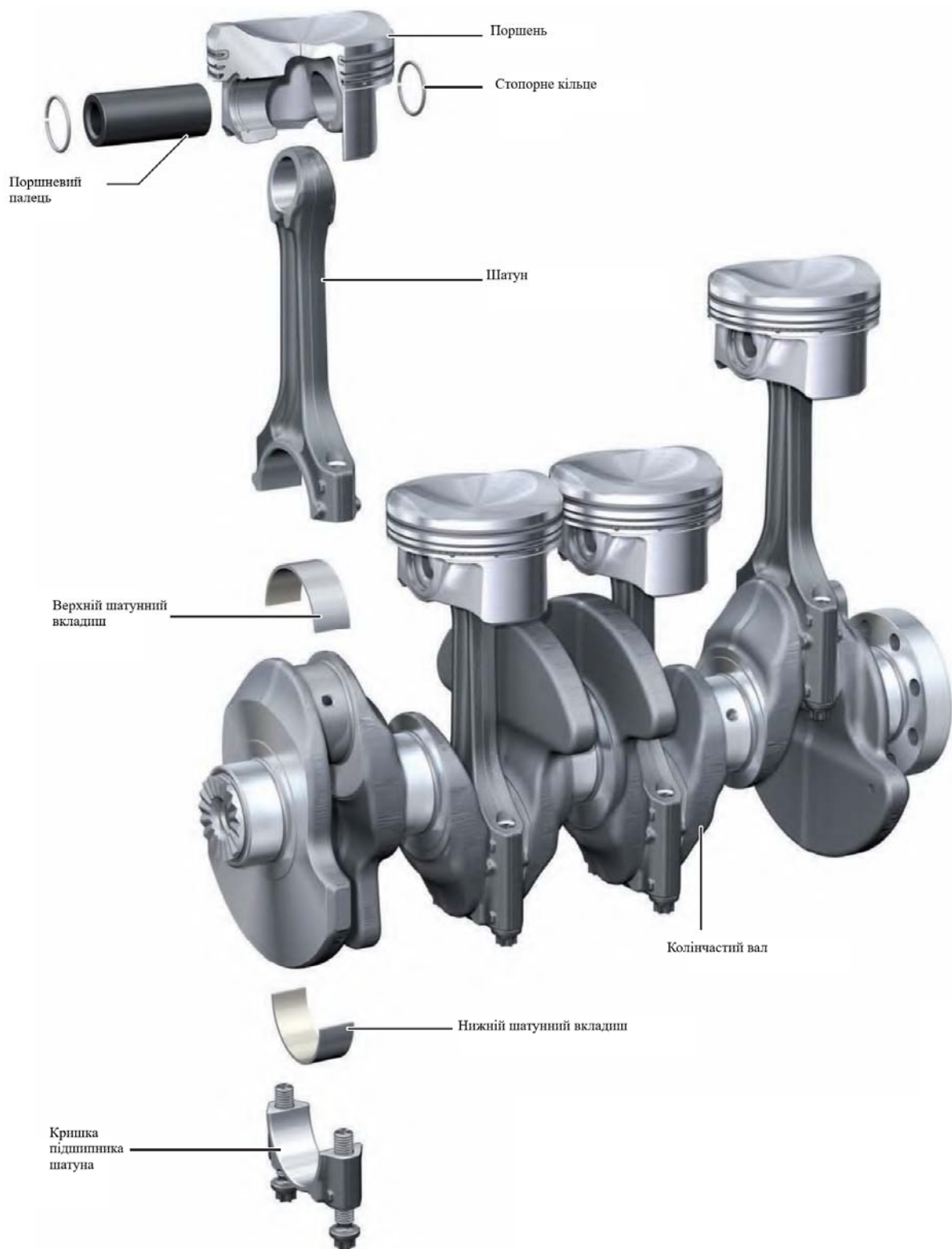


Рисунок 1.3 – Кривошипно-шатунний механізм

Середнє поршневе кільце – конічне з проточкою.

Нижнє поршневе кільце – маслознімне (двокомпонентне, зі сходящимися фасками та спіральним пружинним розширювачем).

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

Кришка шатунів відокремлюється методом відламування. Нижні шатунні вкладиші, як і корінні, двошарові, без вмісту свинцю. Важливим нововведенням є відмова від бронзової втулки у верхній головці шатуна. Таким чином, усі підшипники ковзання в двигуні не містять свинцю.

Шатунна головка без втулки вперше застосована в двигунах для легкових автомобілів і захищена патентом Audi. Поршневий палець контактує у шатуні безпосередньо зі сталлю, а в поршні – з алюмінієвим сплавом. Для цього на поверхню пальця нанесено спеціальне високоміцне вуглецеве покриття, так зване покриття DLC.

Колінчастий вал. Діаметр корінних шийок колінчастого вала було зменшено порівняно з двигунами другого покоління з 52 до 48 мм, а кількість противаг також скорочено – з восьми до чотирьох. Це дозволило зменшити масу двигуна на 1,6 кг. І верхні, і нижні вкладиші підшипників – двошарові, без вмісту свинцю. Забезпечується придатність двигуна до роботи в режимі Start-Stop.

Головка блока циліндрів (рис. 1.4) є, мабуть, найбільш цікавим вузлом нового двигуна і була повністю розроблена заново. Уперше на двигунах з турбонаддувом і безпосереднім упорскуванням палива випускний колектор виконано як складову частину головки блока циліндрів і охолоджується системою охолодження двигуна (IAGK, або «інтегрований випускний колектор»).

Клапанна кришка встановлюється на головку блока циліндрів із застосуванням рідкого герметика та кріпиться сталевими болтами.

Для герметизації стику головки блока циліндрів з блоком циліндрів використовується тришарова металева прокладка.

Герметизація з боку приводу ГРМ забезпечується пластмасовою кришкою корпусу ланцюгового приводу. У корпусі ланцюгового приводу тепер також розміщена кришка маслозаливної горловини.

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

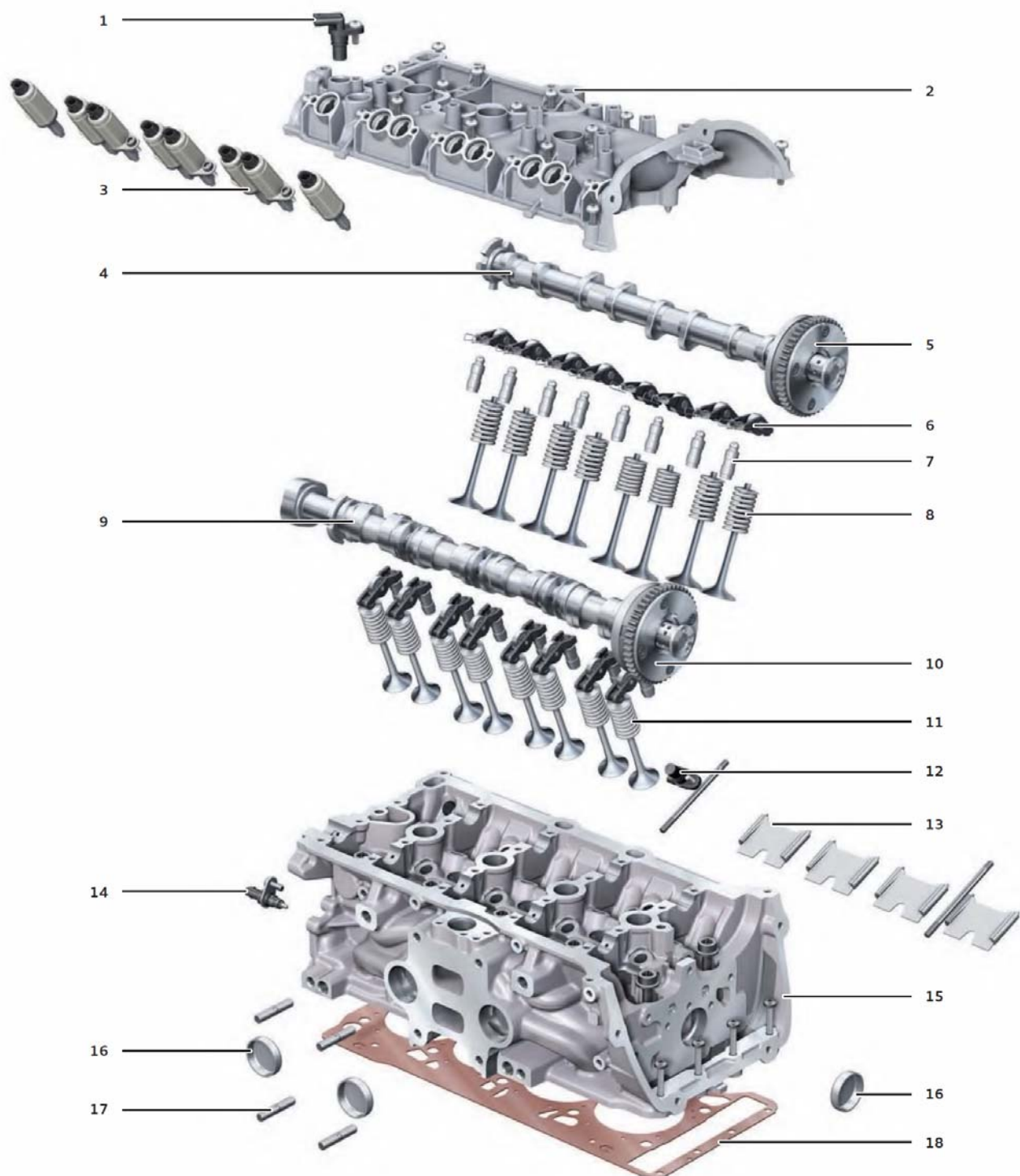


Рисунок 1.4 – Головка блоку циліндрів

На рис. 1.4 позначено: 1 – датчик Холла 3 G300; 2 – клапанна кришка; 3 – виконавчі механізми 1–8 регулювання підйому клапанів F366–F373; 4 – розподільний вал впускних клапанів; 5 – регулятор фаз газорозподілу впускних клапанів; 6 – роликове коромисло; 7 – гідрокомпенсатор; 8 –

впускний клапан; 9 – розподільний вал випускних клапанів; 10 – регулятор фаз газорозподілу випускних клапанів; 11 – випускний клапан; 12 – датчик Холла G40; 13 – розділові перегородки впускних каналів; 14 – датчик температури охолоджувальної рідини G62; 15 – головка блока циліндрів; 16 – запобіжна заглушка (видавлюється під час замерзання охолоджувальної рідини); 17 – шпильки кріплення турбонагнітача до випускного колектора; 18 – прокладка головки блока циліндрів.

Важливим нововведенням став охолоджуваний випускний колектор, безпосередньо інтегрований у головку блока циліндрів, із розділенням каналів за тактами випуску окремих циліндрів. Застосування вбудованого випускного колектора дає змогу істотно знизити температуру відпрацьованих газів на вході в турбонагнітач порівняно зі звичайним колектором. Окрім того, на двигуні використовується турбонагнітач із підвищеною термостійкістю.

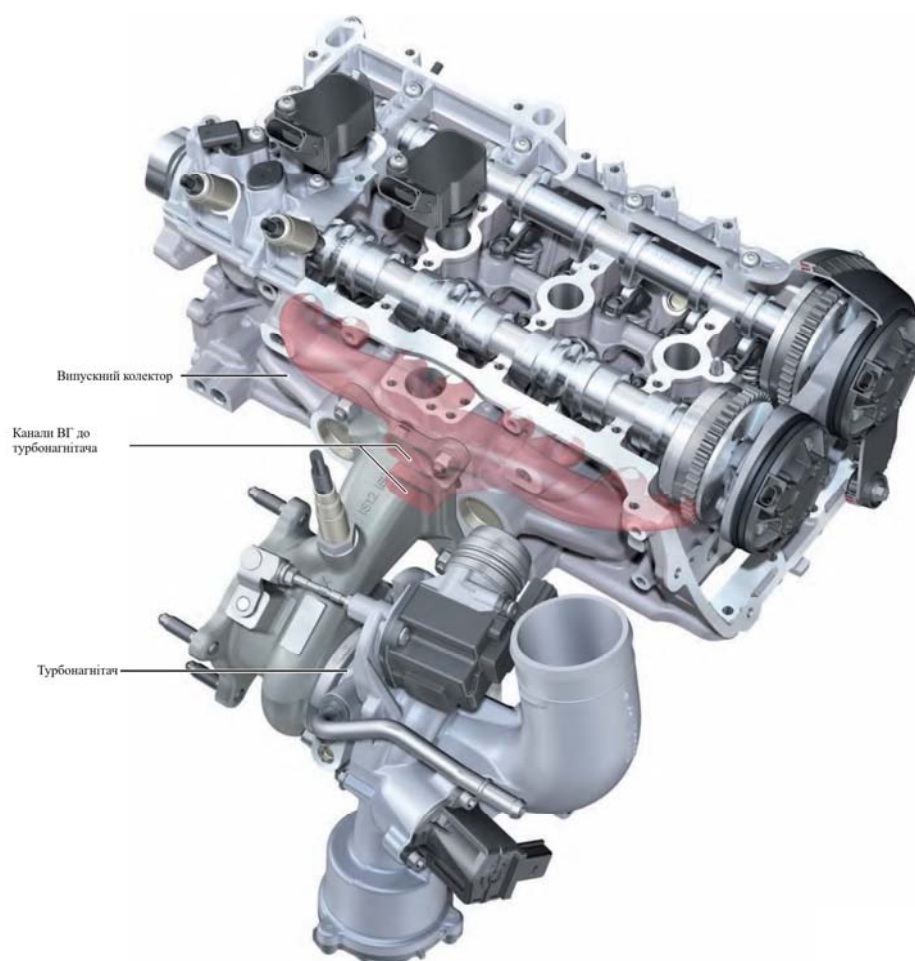


Рисунок 1.5 – Випускна система

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

Така комбінація дозволяє, насамперед на високих обертах, практично повністю відмовитися від збагачення паливоповітряної суміші за повного навантаження, яке зазвичай застосовується для захисту турбіни від перегріву. У результаті досягається економія палива як за звичайного, так і за спортивного стилю водіння. Крім того, вбудований випускний колектор забезпечує швидше прогрівання охолоджувальної рідини (на холодному двигуні) і, таким чином, є важливою складовою системи терморегулювання двигуна.

Система змащування (рис. 1.6)

Як і інші вузли та системи двигуна, система змащування також зазнала послідовної оптимізації та модернізації. Особливий акцент при цьому було зроблено на таке:

- оптимізацію напірних каналів масляного контуру з метою зменшення втрат тиску за одночасного підвищення пропускної здатності;
- зменшення втрат тиску в напірних контурах;
- розширення діапазону обертів режиму низького рівня тиску масла;
- зниження тиску масла в режимі низького рівня;
- вимкнення форсунок охолодження поршнів.

У сукупності всі ці заходи призвели до помітного зменшення втрат на тертя в агрегаті, що додатково сприяє зниженню витрати палива.

Маслозаливна горловина з кришкою розміщена на корпусі ланцюгового приводу. Нова кришка легко відкривається та закривається, водночас повністю забезпечуючи надійну герметизацію внутрішньої порожнини двигуна.

У конструкції нової кришки розділено функції ущільнення та (байонетного) замикального механізму. У результаті площа прилягання ущільнювального кільця прямокутного перерізу з еластомеру до корпусу ланцюгового приводу стала меншою, а також під час відкривання і закривання не відбувається відносного переміщення ущільнюваних поверхонь.

					<i>KPM.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

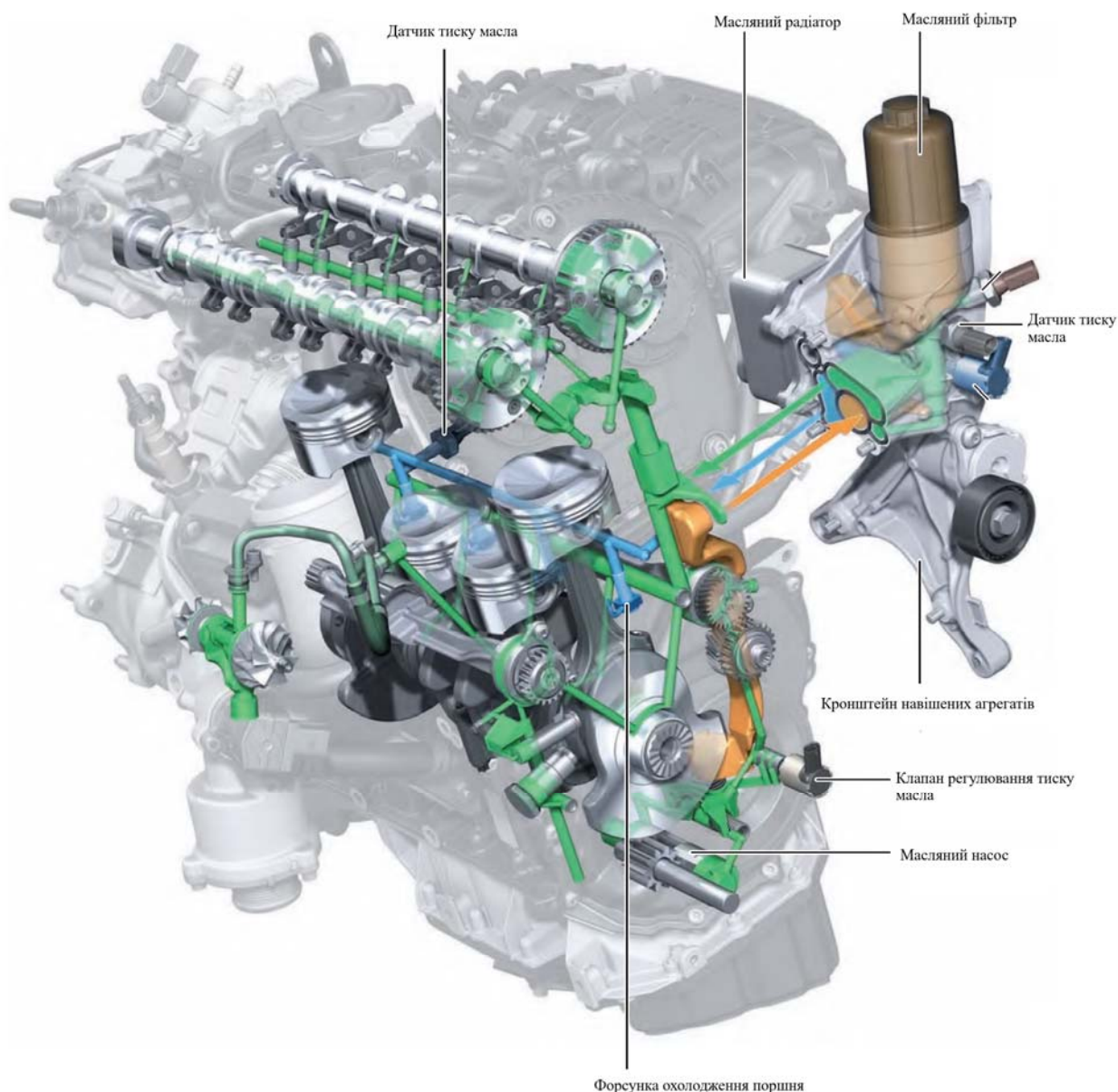


Рисунок 1.6 – Система змащування

Система охолодження (рис. 1.7) має різні виконання залежно від потужності двигуна та додаткового обладнання автомобіля.

Факторами, що зумовлюють відмінності у виконанні системи охолодження, є: поздовжня або поперечна компоновочна схема, робочий об'єм двигуна, варіант коробки передач, а також наявність або відсутність у автомобіля автономного опалювача.

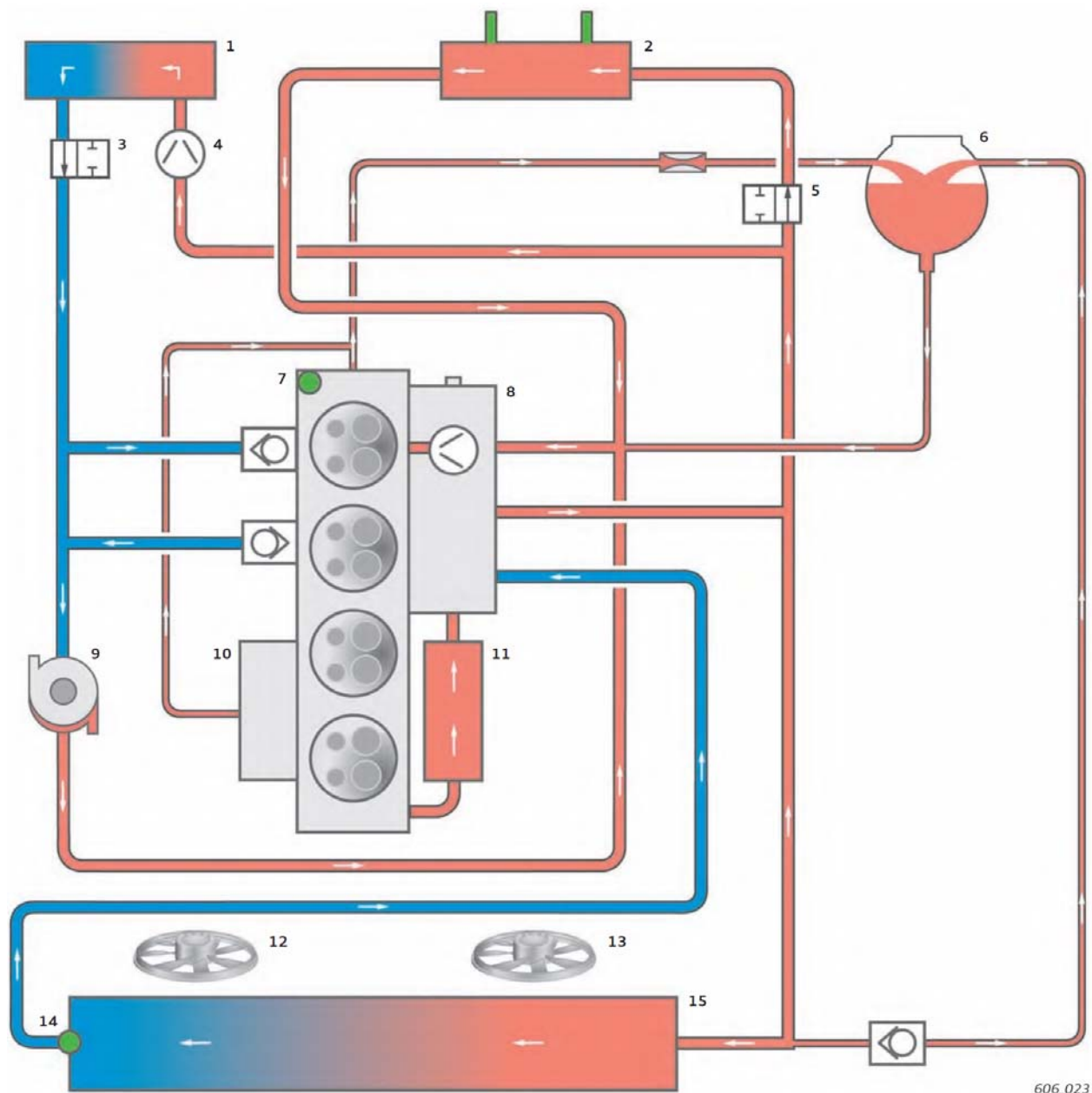


Рисунок 1.7 – Система охолодження

На рис. 1.7 позначено: 1 - теплообмінник опалювача; 2 - масляний радіатор коробки передач; 3 - запірний клапан охолоджувальної рідини кліматичної установки Climatronic N422; 4 - циркуляційний насос охолоджувальної рідини V50; 5 - клапан контуру охолоджувальної рідини коробки передач N488; 6 - розширювальний бачок системи охолодження; 7 - датчик температури охолоджувальної рідини G62; 8 - насос системи охолодження з виконавчим механізмом системи терморегулювання двигуна

N493 (поворотні заслінки 1 і 2); 9 - турбонагнітач; 10 - вбудований випускний колектор (IAGK); 11 - масляний радіатор двигуна; 12 - вентилятор радіатора V7; 13 - вентилятор радіатора 2 V177; 14 - датчик температури охолоджувальної рідини на виході з радіатора G83; 15 - радіатор системи охолодження.

Під час розроблення нового покоління двигунів увесь контур системи охолодження було повністю перероблено. Основними вимогами при цьому були: швидкий прогрів двигуна, економія палива за рахунок швидкодіючої та термодинамічно оптимальної системи терморегулювання двигуна, а також, за потреби, швидкий прогрів салону під час холодного пуску.

Двома найважливішими компонентами інноваційної системи терморегулювання є: вбудований у головку блока циліндрів випускний колектор (див. розділ «Головка блока циліндрів») та виконавчий механізм системи терморегулювання двигуна N493, який описується нижче. Він виконаний в єдиному модулі з насосом системи охолодження, що встановлений на «холодному» боці двигуна.

Було розроблено *подвійну систему упорскування палива*.

Завдяки цьому було досягнуто таких цілей:

- підвищення тиску упорскування зі 150 до 200 бар;
- покращення акустичних характеристик;
- виконання вимог стандарту Євро 6 щодо маси та кількості дрібних частинок у відпрацьованих газах (зниження викидів сажових частинок у 10 разів);
- зменшення викидів відпрацьованих газів, зокрема CO₂, та відповідність чинним і перспективним екологічним нормам;
- оснащення двигуна додатковою системою упорскування у випускний колектор;
- зниження витрати палива на середніх навантаженнях, що є перевагою упорскування у випускний колектор (MPI).

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

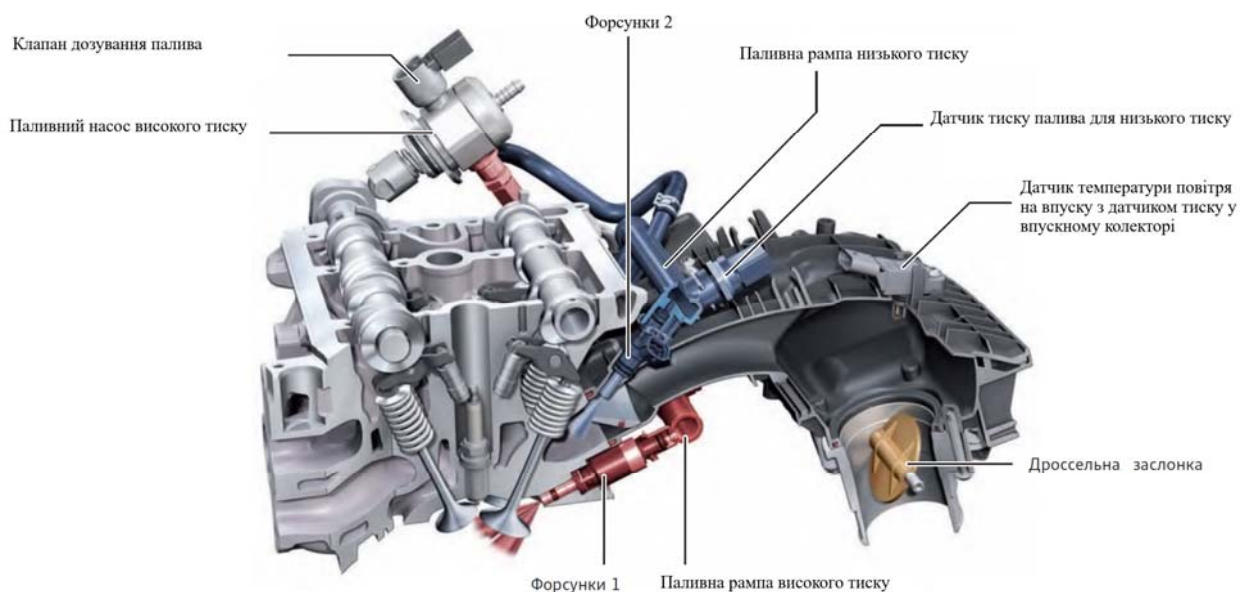


Рисунок 1.8 – Паливна система

Система упорскування у впускний колектор (MPI)

Паливо до системи упорскування MPI надходить від наявного на насосі високого тиску штуцера низького тиску. Таким чином, під час роботи двигуна в режимі упорскування у впускний колектор паливо продовжує протікати через насос високого тиску, охолоджуючи його. До складу системи упорскування у впускний колектор (MPI) входить власний датчик тиску – датчик низького тиску палива G410. Подача палива здійснюється підкачувальним паливним насосом G6 у паливному баку та регулюється відповідно до потреби. Підкачувальний паливний насос G6 підключений до блока керування паливним насосом J538 і керується через нього блоком керування двигуна. Паливна рампа MPI виготовлена з пластмаси. Форсунки MPI (N532–N535) встановлені у пластмасовому впускному колекторі в положенні, що забезпечує оптимальний напрям упорскування палива.

Для зменшення пульсацій, які передаються насосом високого тиску в рампу, у штуцері низького тиску на насосі високого тиску встановлено дросель.

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

Система упорскування високого тиску

Для роботи за тиску палива до 200 бар усі елементи контуру високого тиску були модернізовані. З метою зниження рівня шуму форсунки тепер встановлюються в головку блока циліндрів із використанням підпружинених металевих шайб. Паливна рампа високого тиску також відокремлена від впускного колектора і кріпиться болтами до головки блока циліндрів. Місце розташування форсунок високого тиску дещо зміщене назад.

Завдяки цьому покращується гомогенізація паливоповітряної суміші, а також зменшується теплове навантаження на форсунки. Схему регулювання в межах її уніфікації для всіх двигунів було ще раз переглянуто. У схемі регулювання діє принцип: у разі від'єднання роз'єму від регулятора тиску палива N276 тиск у контурі високого тиску більше не створюється.

					<i>КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ПОВІТРОПОСТАЧАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Система повітропостачання є одним із ключових елементів автомобільного двигуна внутрішнього згоряння, оскільки саме вона визначає умови наповнення циліндрів повітрям, формування паливоповітряної суміші, характер процесу згоряння та, як наслідок, потужнісні, економічні й екологічні показники двигуна. У сучасних умовах розвитку автомобілебудування вдосконалення систем повітропостачання набуває особливої актуальності у зв'язку з посиленням екологічних норм, необхідністю зниження витрати палива та підвищення ефективності роботи двигунів у широкому діапазоні режимів.

Одним із провідних напрямків є *розвиток систем наддуву*. Турбонаддув дозволяє істотно підвищити коефіцієнт наповнення циліндрів за рахунок подачі повітря під надлишковим тиском, що забезпечує зростання літрової потужності без збільшення робочого об'єму двигуна. Сучасні тенденції пов'язані з використанням турбоагнітачів із підвищеним ККД, оптимізованою аеродинамікою компресора та турбіни, а також систем із змінною геометрією, що покращують відгук двигуна на малих обертах і зменшують ефект «турбоями».

Класичні турбонаддувні системи постійно вдосконалюються за рахунок оптимізації аеродинаміки компресорних і турбінних коліс, застосування жаростійких матеріалів та зниження інерційності обертових елементів. Це дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії турбоагнітачів і забезпечити стабільні параметри наддуву в широкому діапазоні частот обертання колінчастого вала. Особлива увага приділяється зменшенню запізнення наддуву (так званої «турбоями»), що істотно покращує прийомистість двигуна та комфорт керування автомобілем [2].

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

Важливим етапом розвитку систем наддуву стало впровадження турбонагнітачів зі змінною геометрією турбіни (VGT/VNT). Зміна ефективного перерізу соплового апарата дає змогу адаптувати роботу турбіни до поточних режимів двигуна, забезпечуючи високий тиск наддуву на малих обертах і стабільну роботу на високих навантаженнях. Хоча спочатку такі системи широко застосовувалися переважно на дизельних двигунах, сьогодні вони поступово впроваджуються і в бензинових двигунах завдяки використанню термостійких матеріалів.

Подальший розвиток отримали двоканальні турбонагнітачі (Twin-Scroll), які забезпечують розділення потоків відпрацьованих газів від різних груп циліндрів. Це зменшує взаємний вплив імпульсів випуску, підвищує енергію газового потоку, що надходить на турбіну, та покращує наповнення циліндрів. У результаті досягається підвищення крутного моменту на малих і середніх обертах та зменшення витрати палива.

Суттєвим сучасним напрямком є електрифікація систем наддуву. Застосування електричних компресорів або електрично асистованих турбонагнітачів дозволяє створювати тиск наддуву незалежно від енергії відпрацьованих газів. Це практично усуває затримку наддуву, покращує динамічні характеристики двигуна та забезпечує більш точне керування повітряним зарядом. Такі рішення особливо ефективні у поєднанні з гібридними силовими установками [3].

Одним із найефективніших сучасних напрямків удосконалення систем повітропостачання автомобільних двигунів *є застосування проміжного охолодження наддувного повітря*. У двигунах з наддувом повітря після компресора турбонагнітача або механічного нагнітача істотно нагрівається, що призводить до зменшення його густини та погіршення наповнення циліндрів. Проміжне охолодження наддувного повітря дозволяє знизити його температуру перед подачею у впускний колектор, тим самим підвищуючи масу повітряного заряду та ефективність робочого процесу двигуна.

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

Основним елементом системи проміжного охолодження є інтеркулер, який може бути виконаний за схемою «повітря–повітря» або «повітря–рідина». Інтеркулери типу «повітря–повітря» відрізняються простотою конструкції та високою надійністю, оскільки використовують потік зустрічного повітря для відведення теплоти. Інтеркулери типу «повітря–рідина» мають вищу ефективність теплообміну та компактні габарити, що особливо важливо в умовах обмеженого підкапотного простору сучасних автомобілів.

Зниження температури наддувного повітря внаслідок його проміжного охолодження сприяє підвищенню густини повітряного заряду, що безпосередньо впливає на збільшення коефіцієнта наповнення циліндрів. Це дозволяє підвищити потужність і крутний момент двигуна без збільшення робочого об'єму, а також забезпечити стабільну роботу двигуна на підвищених навантаженнях. Одночасно зростає термічна стійкість робочого процесу та зменшується ризик виникнення детонації в бензинових двигунах.

Важливим аспектом застосування проміжного охолодження є покращення паливної економічності. За рахунок підвищення ефективності наповнення циліндрів і стабілізації процесу згоряння зменшуються питомі витрати палива, особливо в режимах середніх і високих навантажень. Крім того, зниження температури наддувного повітря дає змогу обмежити застосування збагачених сумішей, що позитивно впливає на економічні показники та ресурс елементів двигуна.

Застосування інтеркулерів також має важливе екологічне значення. Оптимальні параметри повітряного заряду сприяють більш повному згорянню палива та зниженню утворення оксидів азоту і незгорілих вуглеводнів. Це дозволяє двигунам з наддувом відповідати сучасним екологічним нормам без істотного ускладнення систем очищення відпрацьованих газів.

Сучасні напрямки розвитку систем проміжного охолодження наддувного повітря пов'язані з оптимізацією конструкції теплообмінників,

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

зменшенням гідравлічних опорів повітряних каналів, використанням легких матеріалів та інтеграцією інтеркулерів у загальну систему терморегулювання двигуна. Особливо перспективними є комбіновані схеми охолодження, які поєднують проміжне охолодження з активним електронним керуванням параметрами наддуву.

Оптимізація впускних трактів є одним із ключових сучасних напрямків удосконалення систем повітропостачання автомобільних двигунів, оскільки саме геометрія та газодинамічні характеристики впускної системи значною мірою визначають ефективність наповнення циліндрів повітрям, рівномірність його розподілу між циліндрами та стабільність процесу сумішоутворення. У сучасних двигунах впускний тракт розглядається не лише як канал подачі повітря, а як активний елемент, що впливає на крутний момент, потужність, економічність і екологічні показники силової установки.

Одним із головних напрямків оптимізації є зменшення аеродинамічних опорів у впускному тракті. Це досягається шляхом раціонального профілювання повітропроводів, плавних переходів між елементами системи, зменшення кількості різких поворотів та локальних звужень. Застосування сучасних методів комп'ютерного моделювання потоків (CFD) дозволяє ще на етапі проєктування визначити зони підвищених втрат тиску та оптимізувати форму каналів з урахуванням реальних режимів роботи двигуна.

Важливим напрямком є застосування впускних колекторів змінної геометрії та змінної довжини каналів. Такі системи дають змогу адаптувати характеристики впускного тракту до частоти обертання та навантаження двигуна. На малих і середніх обертах довші канали сприяють підвищенню крутного моменту за рахунок використання інерційних і хвильових ефектів, тоді як на високих обертах короткі канали забезпечують зменшення опорів і покращення наповнення циліндрів. Це дозволяє суттєво розширити ефективний діапазон роботи двигуна.

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

Суттєвого розвитку набули системи керування потоками повітря у впускному колекторі, зокрема вихрові та напрямні заслінки (swirl та tumble). Регулювання напрямку та інтенсивності руху повітряного потоку в циліндрі забезпечує покращення сумішоутворення, стабільність згоряння та зниження викидів шкідливих речовин, особливо на часткових навантаженнях і під час холодного пуску. Такі рішення є особливо ефективними в бензинових двигунах із безпосереднім упорскуванням палива.

Окремим напрямком оптимізації є інтеграція впускного тракту з електронними системами керування двигуном. Сучасні електронні дросельні заслінки, датчики тиску та температури повітря, а також адаптивні алгоритми керування дозволяють у реальному часі змінювати параметри повітряного потоку залежно від режиму роботи двигуна. Це забезпечує точне дозування повітря, покращує динамічні характеристики та сприяє зниженню витрати палива.

Значну роль відіграє також використання нових матеріалів і конструктивних рішень. Пластмасові та композитні впускні колектори дозволяють зменшити масу двигуна, знизити теплопередачу від гарячих елементів та реалізувати складні просторові форми каналів, які важко або неможливо виготовити традиційними методами. Це сприяє підвищенню ефективності системи повітропостачання та покращенню загальної енергоефективності двигуна.

Одним із ключових сучасних напрямків удосконалення систем повітропостачання автомобільних двигунів є широке **впровадження електронних систем керування**. Перехід від суто механічних і пневматичних елементів до електронно керованих пристроїв дозволив принципово підвищити точність дозування повітря, адаптивність системи до режимів роботи двигуна та інтеграцію повітропостачання з іншими системами керування силовою установкою.

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

Центральним елементом електронного керування повітропостачанням є електронний блок керування двигуном, який у реальному часі обробляє сигнали від датчиків масової витрати повітря, тиску у впускному колекторі, температури повітря, положення дросельної заслінки та частоти обертання колінчастого вала. На основі цих даних формується оптимальний алгоритм подачі повітря відповідно до навантаження, режиму руху та екологічних вимог. Такий підхід забезпечує стабільну роботу двигуна у всьому діапазоні обертів і навантажень.

Важливим елементом сучасних електронних систем є електронна дросельна заслінка (drive-by-wire), яка замінила традиційний механічний зв'язок між педаллю акселератора та дроселем. Електронне керування дросельною заслінкою дозволяє не лише точно регулювати кількість повітря, що надходить у двигун, а й реалізовувати додаткові функції: обмеження крутного моменту, стабілізацію холостого ходу, зниження пробуксовування коліс, а також взаємодію з системами курсової стійкості та круїз-контролю.

Суттєвого розвитку набули електронно керовані системи регулювання геометрії впускного тракту. Керування заслінками змінної довжини впускного колектора, вихровими та напрямними заслінками здійснюється за командами електронного блока керування, що дозволяє оптимізувати швидкість і напрям руху повітряного потоку залежно від режиму роботи двигуна. Це сприяє покращенню наповнення циліндрів, підвищенню крутного моменту на малих і середніх обертах та зниженню токсичності відпрацьованих газів.

Електронні системи керування повітропостачанням відіграють важливу роль у двигунах з наддувом. Електронне керування перепускними клапанами турбонагнітача, електроприводами змінної геометрії та системами охолодження наддувного повітря забезпечує точне підтримання заданого тиску наддуву. Це дозволяє підвищити ефективність використання енергії відпрацьованих газів, зменшити затримку наддуву та покращити динамічні характеристики двигуна.

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

Окремого значення електронні системи керування повітропостачанням набувають у контексті зниження шкідливих викидів. Точне регулювання кількості та параметрів повітряного заряду дозволяє підтримувати оптимальне співвідношення паливо–повітря, що забезпечує повніше згоряння палива, зниження утворення оксидів азоту, оксиду вуглецю та незгорілих вуглеводнів. Це є необхідною умовою відповідності сучасним і перспективним екологічним нормам.

Одним із важливих сучасних напрямків удосконалення систем повітропостачання автомобільних двигунів є *зниження аеродинамічних і гідравлічних втрат у впускному тракті*. Втрати тиску, що виникають під час руху повітря через фільтрувальні елементи, повітропроводи, дросельні вузли та впускний колектор, безпосередньо впливають на коефіцієнт наповнення циліндрів і, відповідно, на потужнісні та економічні показники двигуна. Зменшення цих втрат дозволяє підвищити ефективність використання повітряного заряду без зміни базових параметрів двигуна.

Значну роль у зниженні аеродинамічних втрат відіграє оптимізація геометрії впускних каналів і повітропроводів. Плавні переходи між елементами системи, збільшені радіуси заокруглень, відсутність різких змін перерізу та мінімізація турбулентних зон сприяють зменшенню опору руху повітря. Сучасні методи комп'ютерного газодинамічного моделювання (CFD) дають змогу детально аналізувати структуру потоку та виявляти локальні зони підвищених втрат тиску ще на етапі проєктування.

Важливим напрямком є удосконалення повітряних фільтрів. Сучасні фільтрувальні елементи поєднують високу ефективність очищення повітря з мінімальним гідравлічним опором. Застосування багатошарових матеріалів, оптимізованої структури фільтрувального полотна та збільшеної робочої поверхні дозволяє зменшити падіння тиску на фільтрі без погіршення ступеня очищення повітря.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Суттєвого значення набуває зниження втрат у дросельних і керувальних елементах системи повітропостачання. Використання електронних дросельних заслінок із оптимізованою формою заслінки та корпусу дозволяє зменшити опір потоку в частково відкритих положеннях, що особливо важливо для режимів часткових навантажень, які є переважаючими під час реальної експлуатації автомобіля.

Окремим напрямком є зменшення гідравлічних втрат у системах наддуву, зокрема у повітропроводах між компресором, інтеркулером і впускним колектором. Оптимізація конфігурації трубопроводів, зменшення кількості з'єднань, застосування гладких внутрішніх поверхонь і раціональне розміщення інтеркулера дозволяють знизити втрати тиску наддувного повітря та підвищити загальний ККД системи наддуву.

Зниження аеродинамічних і гідравлічних втрат має також екологічний та економічний ефект. Поліпшення наповнення циліндрів повітрям сприяє більш повному згорянню палива, зменшенню питомої витрати палива та зниженню викидів шкідливих речовин. Це дозволяє досягати відповідності сучасним екологічним стандартам без істотного ускладнення конструкції двигуна.

Одним із перспективних сучасних напрямків удосконалення систем повітропостачання автомобільних двигунів є їх **адаптація до роботи на альтернативних і комбінованих паливах**. Зростання вимог щодо зниження викидів парникових газів, обмеженість традиційних нафтових ресурсів та розвиток екологічних транспортних стратегій зумовлюють активне впровадження палив нового покоління, таких як біоетанол, метанол, стиснений та зріджений природний газ, водень, а також різноманітні паливні суміші. Зміна фізико-хімічних властивостей палива безпосередньо впливає на параметри повітряного заряду, що підвищує роль системи повітропостачання в забезпеченні стабільної та ефективної роботи двигуна.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для альтернативних палив характерні інші стехіометричні співвідношення «паливо–повітря», швидкість згоряння та температурні режими, ніж для традиційного бензину або дизельного палива. У зв'язку з цим системи повітропостачання повинні забезпечувати ширший діапазон регулювання витрати та параметрів повітря, а також високу точність його дозування. Це досягається шляхом використання електронно керованих дросельних вузлів, адаптивних алгоритмів керування та тісної інтеграції системи повітропостачання з електронним блоком керування двигуном.

Особливої уваги потребує адаптація впускних трактів і систем наддуву до роботи на газоподібних і комбінованих паливах. Наприклад, під час використання водню або природного газу зростають вимоги до рівномірності розподілу повітря між циліндрами та запобігання зворотним спалахам у впускному колекторі. Це зумовлює необхідність оптимізації геометрії впускних каналів, застосування спеціальних зворотних клапанів та керування тиском у впускному тракті. У двигунах з наддувом додатково враховується вплив альтернативних палив на температуру наддувального повітря та теплове навантаження елементів системи.

Важливим напрямком є керування турбулентністю та напрямком повітряного потоку у циліндрі. Для палив із високою швидкістю згоряння або низькою теплотою згоряння ефективно сумішоутворення значною мірою залежить від інтенсивності вихрових рухів повітря. Застосування керованих заслінок у впускному колекторі (swirl та tumble) дозволяє адаптувати характеристики повітряного потоку до конкретного виду палива та режиму роботи двигуна.

Адаптація систем повітропостачання до альтернативних і комбінованих палив має також суттєве екологічне значення. Оптимізація повітряного заряду сприяє більш повному згорянню палива, зниженню викидів оксидів азоту, незгорілих вуглеводнів і твердих частинок. Це особливо актуально для двигунів, що працюють у гнучкому паливному режимі (flex-fuel), де система

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

повітропостачання повинна швидко перебудовуватися під змінний склад палива.

Проведений аналіз сучасних напрямків удосконалення систем повітропостачання автомобільних двигунів свідчить про те, що саме ця система відіграє визначальну роль у забезпеченні високих енергетичних, економічних та екологічних показників силових установок. Розвиток автомобільного двигунобудування відбувається в умовах жорстких екологічних обмежень, підвищених вимог до паливної економічності та необхідності збереження високих динамічних характеристик, що зумовлює комплексний підхід до вдосконалення систем повітропостачання.

Сучасні технічні рішення спрямовані на підвищення коефіцієнта наповнення циліндрів, зменшення втрат тиску у впускному тракті, оптимізацію температурних режимів повітряного заряду та впровадження інтелектуальних електронних систем керування. Застосування проміжного охолодження наддувного повітря, оптимізація впускних трактів, зниження аеродинамічних і гідравлічних втрат, а також адаптація систем повітропостачання до альтернативних і комбінованих палив дозволяють суттєво підвищити ефективність робочого процесу двигуна без істотного ускладнення його базової конструкції.

Важливу роль у розвитку систем повітропостачання відіграє інтеграція з електронними системами керування двигуном. Саме електронізація процесів подачі та регулювання повітря забезпечує високу точність дозування, адаптацію до змінних умов експлуатації та можливість оптимізації роботи двигуна в реальному часі. У сукупності всі ці напрямки формують основу сучасної концепції підвищення ефективності двигунів внутрішнього згоряння.

Найперспективнішим напрямком розвитку систем повітропостачання на сучасному етапі слід вважати подвійний наддув. Поєднання двох різних способів наддуву (наприклад, механічного компресора і турбонагнітача або двох послідовно/паралельно працюючих турбонагнітачів) дозволяє

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

максимально ефективно використовувати енергію відпрацьованих газів і водночас забезпечити високий тиск наддуву в усьому діапазоні частот обертання двигуна. Подвійний наддув практично усуває проблему «турбоями», покращує прийомистість двигуна на малих обертах і забезпечує стабільне зростання потужності на високих навантаженнях [4].

Крім того, подвійний наддув створює сприятливі умови для реалізації концепції downsizing, оскільки дозволяє отримувати високі потужнісні показники від двигунів малого робочого об'єму зі зниженими питомими викидами шкідливих речовин. У поєднанні з ефективним проміжним охолодженням наддувного повітря та електронними системами керування подвійний наддув забезпечує оптимальне наповнення циліндрів, зниження теплових і механічних навантажень, а також покращення паливної економічності.

Таким чином, комплексний розвиток систем повітропостачання є ключовим чинником підвищення ефективності автомобільних двигунів, а подвійний наддув на сьогодні виступає найбільш перспективним і технологічно обґрунтованим напрямком, що поєднує високі динамічні показники, економічність і відповідність сучасним та перспективним екологічним вимогам.

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

РОЗДІЛ 3
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ПОВІТРОПОСТАЧАННЯ З
ПОДВІЙНИМ НАДДУВОМ ДЛЯ ДВИГУНА 4ЧН 8,25/8,41
(VOLKSWAGEN EA888)

Тепловий розрахунок двигуна 4ЧН 8,25/8,41 (VOLKSWAGEN EA888)

Параметр	Значення
<i>Вихідні дані</i>	
Діаметр циліндра, м	0,0825
Хід поршня, м	0,0841
Частота обертання, хв ⁻¹	5100
Тактність	0,5
Число циліндрів	4
Тиск наддуву, МПа	0,135
Тиск навколишнього середовища, МПа	0,1013
Температура навколишнього середовища, К	303
Показник політропи стиснення в компресорі	1,8
Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння	0,93
Коефіцієнт використання тепла в точці z	0,94
Коефіцієнт використання тепла в точці b	0,97
Ступінь стиснення	9,6
Відношення середньої ізобарної теплоємності ВГ та свіжого заряду	1,15
Підігрів заряду від стінок циліндра	15
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	0,96
Коефіцієнт втрати тиску у впускному колекторі	0,99
Механічний ККД двигуна	0,9
Втрата тиску в повітроохолоджувачі, МПа	0,005

Температура залишкових газів, К	800
Нижча теплота згорання палива, кДж/кг	43960
Коефіцієнт дозарядки	1,04
Коефіцієнт продувки	0,25
Тиск в випускному колекторі, МПа	0,11
Вуглець С, %	0,855
Водень Н ₂ , %	0,145
<i>Розрахунок процесу наповнення</i>	
Температура повітря за компресором, К	309,861
Температура повітря в точці а, К	329,919
Тиск повітря в точці а, МПа	0,134
Коефіцієнт наповнення	1,07
Коефіцієнт залишкових газів	0,0086
<i>Розрахунок процесу стиснення</i>	
Теплоємність робочого тіла в точці с, кДж/(кмольК)	21,504
Середній показник політропи стиснення	1,377
Тиск наприкінці стиснення, МПа	3,007
Температура наприкінці стиснення, К	773,245
<i>Розрахунок процесу згорання</i>	
Стехіометричне співвідношення	0,512
Кількість свіжого повітря, кмоль/кг	0,485
Кількість робочого тіла після процесу згорання, кмоль/кг	0,52
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	1,072
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	1,072
Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z	1,069
Максимальна температура згорання, К	2970
Максимальний тиск згорання, МПа	12,35
Ступінь підвищення тиску при згоранні	4,107

<i>Розрахунок процесу розширення</i>	
Середній показник політропи розширення	1,23
Температура наприкінці процесу розширення, К	925,151
Тиск наприкінці процесу розширення, МПа	0,765
<i>Індикаторні показники</i>	
Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа	2,001
Дійсний середній індикаторний тиск, МПа	1,921
Індикаторний ККД	0,378
Індикаторна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	0,378
<i>Ефективні показники</i>	
Середній ефективний тиск, МПа	1,728
Ефективний ККД двигуна	0,34
Ефективна питома витрата палива, кг/(кВт×год)	0,241
Ефективна потужність двигуна, кВт	132,203

Аналіз ефективності використання системи подвійного наддуву для двигуна 4СН 8,25/8,41 (VOLKSWAGEN EA888)

Автомобільні двигуни внутрішнього згоряння можуть містити турбонагнітачі для підвищення вихідного крутного моменту двигуна. Наприклад, для двигунів, габарити яких було зменшено з метою покращення показників паливної економічності, може виникати потреба у використанні наддуву, що забезпечує компенсацію втрат потужності двигуна, пов'язаних із таким зменшенням габаритів. Такий наддув може бути реалізований за допомогою турбонагнітача (наприклад, турбонагнітач може забезпечувати наддув шляхом примусової подачі впускного повітря, тим самим покращуючи вихідний крутний момент двигуна) [5].

Водночас використання лише одного турбонагнітача може бути пов'язане з низкою недоліків, оскільки це може накладати обмеження на можливий ступінь зменшення габаритів двигуна. Це зумовлено тим, що в

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

такому разі може бути неможливо забезпечити бажане відношення тисків або необхідну поведінку двигуна під час роботи в перехідних режимах у всьому діапазоні його роботи. Крім того, у більш загальному випадку під час перехідних режимів може спостерігатися відставання зміни вихідної потужності (так звана «турбояма»), що може призводити до небажаної затримки вихідного крутного моменту двигуна.

Крім того, коли потік відпрацьованих газів від кількох циліндрів двигуна надходить до входу турбіни турбонагнітача, можуть виникати небажані взаємні накладання між циліндрами залежно від порядку запалювання та встановлення фаз газорозподілу, що може створювати перешкоди для процесу згоряння палива. Як приклад виникнення небажаних перехресних завад у роботі циліндрів у двигуні з турбонаддувом можна навести чотирициліндровий двигун із турбонаддувом, що має порядок запалювання 1–3–4–2, де циліндри 1 і 4 є зовнішніми циліндрами блока, а циліндри 2 і 3 – внутрішніми. Взаємодія між зовнішніми та внутрішніми циліндрами може відбуватися вище за потоком відносно турбіни турбонагнітача. Наприклад, у разі пізнього випуску відпрацьованих газів із циліндра 1 циліндр 3 також може почати випуск газів, що може призвести до підвищення тиску і температури газу в циліндрі 1, а також до збільшення кількості залишкових продуктів згоряння в цьому циліндрі. У результаті може бути здійснений негативний вплив на процес згоряння палива, може зрости ймовірність детонації, і для досягнення бажаної потужності двигуна може знадобитися забезпечення більшого тиску наддуву. Описані проблеми можуть у підсумку обмежувати доступну потужність двигуна.

Для усунення вищезазначених проблем можуть застосовуватися різні підходи. Для вирішення проблеми затримки в роботі турбонагнітача в деяких випадках пропонується використовувати разом із турбонагнітачем нагнітач (повітряний компресор), причому зазначені пристрої можуть використовуватися у визначені моменти часу. Наприклад, у патенті

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

US2010/0263375 описана система наддуву, що включає турбонагнітач і нагнітач, який функціонує або як компресор, або як розширювач. Нагнітач забезпечує наддув на низьких обертах двигуна, а на вищих обертах наддув забезпечується турбонагнітачем, при цьому нагнітач працює як розширювач і забезпечує охолодження. У такому підході відпрацьовані гази від усіх циліндрів двигуна проходять через турбіну турбонагнітача, що може спричиняти небажані взаємні завади в роботі циліндрів і негативно впливати на процес згоряння палива.

Для вирішення проблеми небажаних взаємних завад у роботі циліндрів у деяких підходах може застосовуватися турбонагнітач із подвійною улиткою (документ US 2011/302917). Турбонагнітачі з подвійною улиткою дозволяють усунути проблему небажаних взаємних завад у роботі циліндрів шляхом забезпечення двох окремих шляхів відведення відпрацьованих газів для циліндрів, імпульси випуску яких можуть взаємно впливати один на одного, при цьому кожен із цих шляхів веде до окремої турбіни. Наприклад, у чотирициліндровому двигуні з порядком запалювання 1–3–4–2 перекриття випускних клапанів може відбуватися між циліндрами 1 і 2 під час ходу розширення циліндра 1. Однак завдяки тому, що турбонагнітач із подвійною улиткою забезпечує окремі шляхи відведення відпрацьованих газів для циліндрів 1 і 2, випуск газів із циліндра 1 не впливає на процес згоряння палива в циліндрі 2. Крім того, оскільки таке перекриття клапанів не чинить негативного впливу на згоряння, тривалість періоду відкритого стану клапана може бути збільшена, що зменшує роботу двигуна на нагнітання і підвищує паливну ефективність.

Незважаючи на зазначені переваги, було виявлено низку недоліків використання турбонагнітача з подвійною улиткою. Такі турбонагнітачі можуть бути відносно дорогими та мати менший ресурс через складнішу конструкцію порівняно зі звичайним турбонагнітачем. Крім того, їхня працездатність за високих температур може бути обмеженою.

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

Було встановлено, що використання в системі двигуна нагнітача для усунення проблеми турбоями в перехідних режимах роботи або заміна звичайного турбонагнітача на турбонагнітач із подвійною улиткою для усунення проблеми виникнення небажаних взаємних завад у роботі циліндрів не завжди дозволяє досягти бажаних результатів і навіть може призводити до появи нових проблем, зокрема описаних вище. Таким чином, виникає необхідність розроблення системи двигуна та способів її експлуатації, які дозволять забезпечити наддув із використанням або лише турбонагнітача, або як турбонагнітача, так і нагнітача, а також вирішити проблему можливого виникнення турбоями в перехідних режимах роботи двигуна.

В кваліфікаційній роботі пропонується система наддуву двигуна, в якій через турбіну турбонагнітача проходить потік відпрацьованих газів не від усіх циліндрів двигуна, а лише від однієї підгрупи циліндрів, що дозволяє уникнути небажаних взаємних завад у роботі циліндрів навіть у разі перекривання періодів відкривання випускних клапанів цих циліндрів (що залежить від порядку запалювання).

Як показано на рис. 3.1, система 100 двигуна містить турбонагнітач 102 і нагнітач 104, встановлені паралельно вище за потоком відносно впускного колектора, а також клапани для керування шляхами проходження потоків впускного повітря. Система додатково містить вбудований випускний колектор (ІЕМ), у якому відпрацьовані гази від першої підгрупи циліндрів спрямовуються в першу камеру, що сполучена з входом турбіни, а відпрацьовані гази від другої підгрупи циліндрів – у другу камеру, яка не сполучається з першою камерою або з входом турбіни. Таке виконання дозволяє уникнути небажаних взаємних завад у роботі циліндрів та зменшити прояви турбоями [6].

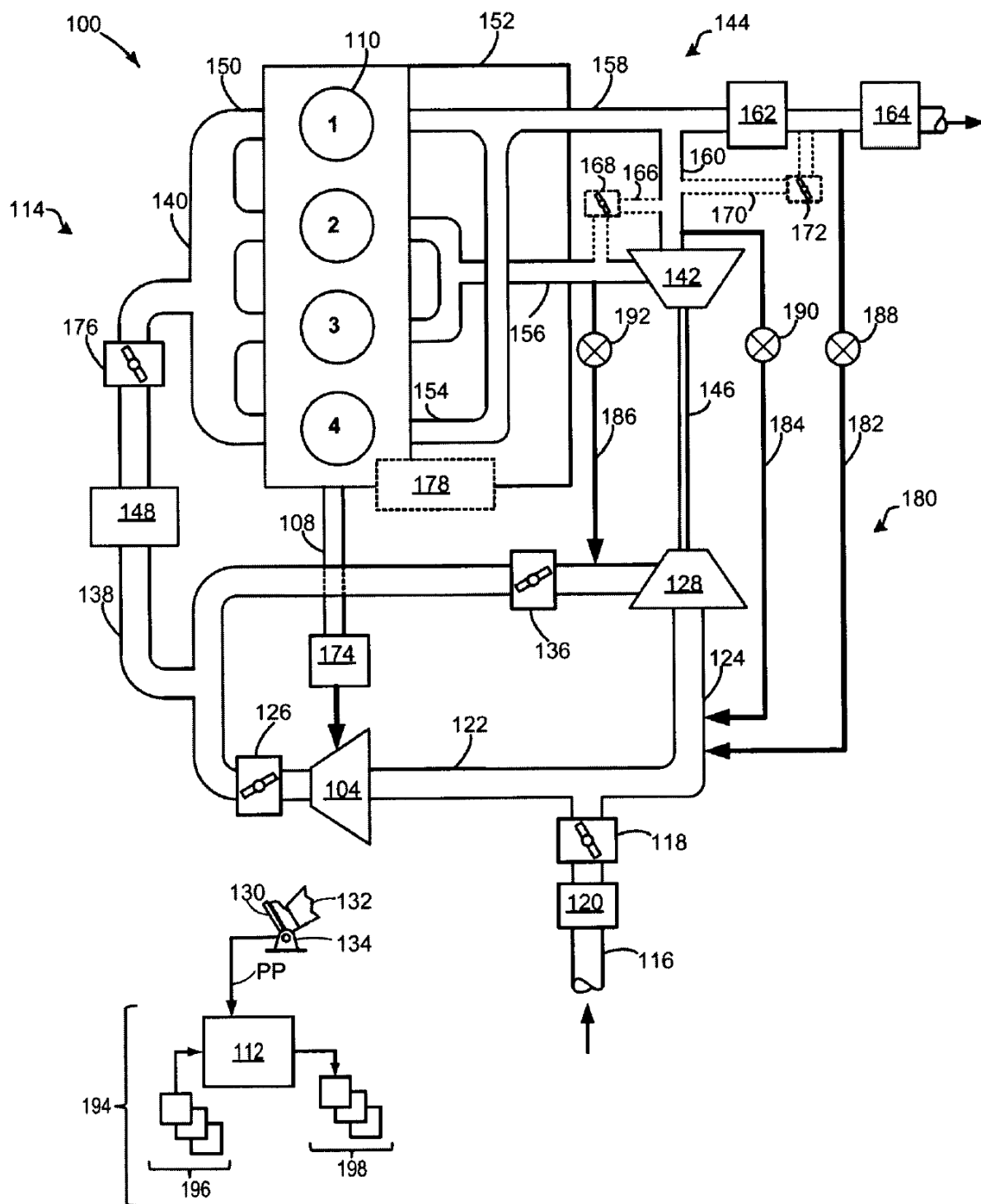


Рисунок 3.1 – Схема системи подвійного наддуву

Описана система реалізує стратегію розділеного наддуву, за якої нагнітач 104 забезпечує миттєвий наддув на малих обертах і в перехідних режимах, а турбонагнітач 102 – наддув у режимах високої потужності. Передаточне відношення ремінної передачі та робочий об'єм нагнітача 104

вибираються для забезпечення «коліна моменту» на низьких обертах, тоді як габарити та маса турбонагнітача 102 оптимізуються для режимів пікової потужності. Це забезпечує ширшу криву крутного моменту порівняно зі звичайним двигуном з турбонаддувом.

Завдяки зменшенню розмірів турбонагнітача 102 його характеристики можуть відповідати двоциліндровому двигуну, що знижує вартість і масу системи. Незалежно від режиму роботи (лише турбонагнітач 102, лише нагнітач 104 або їх спільна робота) система здатна забезпечувати обробку відпрацьованих газів за температури до 1050 °С, що сприяє підвищенню паливної економічності та відповідності вимогам щодо викидів. Використання жаростійких матеріалів у корпусі турбіни дозволяє підтримувати співвідношення паливоповітряної суміші $\lambda = 1$ і подавати відпрацьовані гази до каталізатора у гарячому стані.

У разі виникнення помпажу компресора система керування може тимчасово перенаправляти потік впускного повітря до нагнітача 104. За умов високої корисної потужності нагнітач 104 може бути від'єднаний від колінчастого вала 108, унаслідок чого впускне повітря не проходить через нього, що зменшує навантаження на колінчастий вал і підвищує вихідну потужність та ресурс двигуна.

Система 100 двигуна є багатоциліндровою і в наведеному варіанті виконання являє собою рядний чотирициліндровий двигун з циліндрами 110, позначеними як 1, 2, 3 і 4, де циліндри 2 і 3 є внутрішніми та утворюють першу підгрупу, а циліндри 1 і 4 – зовнішні та утворюють другу підгрупу. Кожен циліндр 110 може містити свічку запалювання та паливну форсунку прямого впорскування.

Керування системою 100 здійснюється системою керування 194, яка отримує сигнали від датчиків 196 і керує виконавчими механізмами 198 за допомогою контролера 112. Контролер 112 також отримує сигнали від водія

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

132 через пристрій введення 130, що містить педаль акселератора та датчик положення педалі 134.

Впускна система 114 подає повітря через впускний канал 116, витрата якого регулюється дроселем 118, а очищення повітря забезпечується повітряним фільтром 120, розташованим вище за потоком.

Нижче за потоком відносно першого дроселя 118 перший впускний канал 116 розділяється на два паралельні канали: канал 122 нагнітача та канал 124 компресора. У каналі 122 розміщені нагнітач 104 і дросель 126 нагнітача, розташований нижче за потоком. Аналогічно, у каналі 124 розміщені компресор 128 турбонагнітача 102 і дросель 136 компресора, розташований нижче за потоком. Ділянка каналу 124 вище компресора 128 є впуском компресора, а ділянка нижче – випуском компресора. Відповідно, ділянка каналу 122 вище нагнітача 104 є впуском нагнітача, а нижче – його випуском.

Випуск компресора та випуск нагнітача об'єднуються нижче за потоком відносно дроселів 136 і 126 у другий впускний канал 138, який веде до впускного колектора 140. Впускний колектор 140 може розгалужуватися на кілька впускних патрубків 150, кожен з яких сполучений з відповідним циліндром 110 через один або більше впускних клапанів. Таким чином, повітря, стиснене нагнітачем 104 та/або компресором 128, надходить у циліндри 110 через впускний колектор 140. Ступінь стиснення та витрата повітря регулюються контролером 112.

Варіант, показаний на рис. 3.1, є придатним для порядку запалювання 1–3–4–2, однак можливі й інші порядки запалювання.

Компресор 128 турбонагнітача 102 приводиться в дію турбіною 142, з'єднаною з вихлопною системою 144 через вал 146. Нагнітач 104 може приводитися в дію двигуном та/або електромашиною і не є турбіною; у наведеному варіанті він з'єднаний з колінчастим валом 108 через електронно керовану муфту 174. Контролер 112 керує муфтою 174 для підключення або відключення нагнітача 104 залежно від режиму роботи. Нагнітач 104

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

забезпечує малий час відгуку (приблизно 0,2 с), тоді як час відгуку турбонагнітача 102 може перевищувати 1 с. За умов, коли нагнітач не потрібен, він від'єднується від колінчастого вала 108, що зменшує навантаження на двигун.

У другому впускному каналі 138 розміщений проміжний охолоджувач 148, який знижує температуру наддувного повітря, підвищує ККД двигуна та зменшує детонацію. Нижче за потоком відносно охолоджувача 148 у каналі 138 може бути встановлений другий дросель 176 для регулювання потоку впускного повітря до двигуна.

Вихлопна система 144 містить вбудований випускний колектор 152 з випускними патрубками 154, які з'єднуються з циліндрами 110 через випускні клапани. Патрубки від циліндрів 2 і 3 об'єднуються в першу камеру 156, а патрубки від циліндрів 1 і 4 – у другу камеру 158. Камери 156 і 158 не сполучаються між собою, що забезпечує повне розділення потоків відпрацьованих газів від різних підгруп циліндрів і запобігає негативному впливу зворотних імпульсів випуску між сусідніми за порядком запалювання циліндрами.

Вбудований випускний колектор 152 може містити систему охолодження 178, яка отримує охолоджувальну рідину від двигуна та прокачує її через вбудований випускний колектор. Охолоджувальна рідина може подаватися насосом через блок двигуна до колектора 152, проходити через один або більше паралельних та/або послідовних каналів і далі відводитися до радіатора.

Перша камера 156 та друга камера 158 можуть продовжуватися за межі вбудованого випускного колектора 152. За межами колектора 152 перша камера 156 спрямовує потік відпрацьованих газів від першої підгрупи циліндрів (наприклад, внутрішніх циліндрів 2 і 3) через турбіну 142 турбонагнітача 102, тоді як друга камера 158 спрямовує потік відпрацьованих газів від другої підгрупи циліндрів (наприклад, зовнішніх циліндрів 1 і 4)

					<i>KPM.142.6221m.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

безпосередньо до одного або більше пристроїв керування викидами, розміщених у другій камері 158. Оскільки потік газів у другій камері проходить в обхід турбіни, зменшується робота на накачування у відповідних циліндрах, що підвищує паливну ефективність. Після проходження через турбіну 142 відпрацьовані гази з першої камери 156 подаються у другу камеру 158 через випускний канал 160 турбіни. У варіанті, показаному на фіг. 1, пристрої керування викидами включають ближній каталізатор 162 і хвостовий каталізатор 164.

За потреби система може містити перепускний канал 166 турбіни з перепускним дроселем 168, який дозволяє частині або всьому потоку відпрацьованих газів із першої камери 156 обходити турбіну 142. Перепускний канал 166 сполучає першу камеру 156 з випускним каналом 160 турбіни. Регулювання положення дроселя 168 дозволяє змінювати кількість газів, що проходять в обхід турбіни.

Додатково система може містити перепускний канал 170 каталізатора з перепускним дроселем 172, який дозволяє спрямовувати потік відпрацьованих газів в обхід ближнього каталізатора 162. Перепускний канал 170 може бути з'єднаний з випускним каналом 160 турбіни та другою камерою 158 між ближнім каталізатором 162 і хвостовим каталізатором 164. Положення дроселя 172 визначає частку потоку, що проходить в обхід ближнього каталізатора, або через нього.

Як показано на рис. 3.1, система 180 рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) може повертати частину відпрацьованих газів у впускну систему 114. Перший канал 182 EGR з'єднує другу камеру 158 з каналом 124 компресора вище компресора 128; другий канал 184 EGR з'єднує випускний канал 160 турбіни з каналом 124 вище компресора 128; третій канал 186 EGR з'єднує першу камеру 156 з каналом 124 нижче компресора 128. Відповідно канали містять перший клапан 188 EGR, другий клапан 190 EGR і третій клапан 192 EGR. Кількість рециркульованих газів регулюється контролером 112. За

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

потреби в каналах EGR можуть бути встановлені датчики тиску, температури та складу газів. Система 180 EGR забезпечує зменшення викидів NOx шляхом рециркуляції частини відпрацьованих газів у впускну систему 114.

Спосіб експлуатації турбонагнітача і нагнітача ґрунтується на аналізі режиму роботи двигуна та запиту крутного моменту. Насамперед визначається, чи перебуває двигун у перехідному режимі. До таких режимів можуть належати, зокрема, різке натискання водієм педалі акселератора або холодний запуск двигуна. За наявності перехідних умов використання лише компресора турбонагнітача є недостатнім для формування необхідного рівня наддуву. Водночас після досягнення стабільного режиму роботи доцільним є забезпечення наддуву виключно турбонагнітачем з від'єднанням нагнітача від двигуна за допомогою електронно керованої муфти з метою зменшення навантаження на двигун [7].

Якщо встановлено наявність перехідних умов, стиснення впускного повітря здійснюється лише нагнітачем. У цьому режимі компресор турбонагнітача зазнає меншого опору, що сприяє швидшому розкручуванню турбіни до необхідної швидкості обертання. У результаті надалі заданий рівень наддуву може бути забезпечений уже турбонагнітачем.

Після переходу в режим наддуву за допомогою нагнітача здійснюється контроль швидкості обертання турбіни турбонагнітача. Перевіряється, чи досягла вона значення, за якого компресор здатний створити такий тиск наддуву, що забезпечує реалізацію крутного моменту, запитуваного водієм. Якщо турбіна ще не досягла необхідної швидкості, стиснення впускного повітря нагнітачем продовжується, надаючи турбонагнітачу додатковий час для розкручування.

Після досягнення турбіною необхідної швидкості визначається, чи перевищує запитуваний крутний момент двигуна встановлене порогове значення. Таке порогове значення відповідає рівню крутного моменту, який

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

неможливо забезпечити лише за рахунок роботи одного з пристроїв наддуву – нагнітача або компресора турбонагнітача.

Якщо запитуваний крутний момент не перевищує порогове значення, наддув здійснюється виключно компресором турбонагнітача. При цьому нагнітач від'єднується від колінчастого вала двигуна за допомогою електронно керованої муфти, що дозволяє зменшити механічне навантаження на двигун.

У разі, коли запитуваний крутний момент перевищує порогове значення, стиснення впускного повітря здійснюється спільно нагнітачем і компресором турбонагнітача. У такому режимі нагнітач компенсує затримку наростання наддуву, характерну для турбонагнітача, тоді як турбонагнітач зменшує потребу в інтенсивній роботі нагнітача. Це призводить до зниження навантаження на двигун та/або зменшення споживання енергії залежно від джерела приводу нагнітача.

За відсутності перехідних умов роботи двигуна наддув здійснюється у встановленому режимі, після чого виконання способу завершується.

Запропонований спосіб реалізації режимів наддуву призначений для керування роботою нагнітача та компресора турбонагнітача залежно від поточних умов роботи двигуна. Спочатку визначається, який саме режим наддуву є доцільним для заданого навантаження, частоти обертання та запиту крутного моменту. Вибір режиму може здійснюватися на основі окремого алгоритму визначення режиму роботи, після чого обраний режим наддуву реалізується відповідною послідовністю керуючих дій. При цьому допускається часткове перекриття режимів наддуву, а також їх динамічне коригування з метою оптимізації паливної економічності та відчуттів від керування автомобілем.

У разі вибору режиму наддуву з використанням лише нагнітача забезпечується механічне з'єднання нагнітача з колінчастим валом двигуна за допомогою керованої муфти. Така муфта може мати електронне керування,

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

що дозволяє підключати нагнітач лише за необхідності. У цьому режимі привод компресора нагнітача здійснюється безпосередньо від двигуна, хоча в альтернативних виконаннях можливе використання електричного приводу. Далі впускний тракт налаштовується таким чином, що повітря спрямовується виключно через канал нагнітача: дросель компресора турбонагнітача повністю закривається, а дросель нагнітача відкривається. Одночасно перекривається перепускний канал турбіни, унаслідок чого весь потік відпрацьованих газів першої підгрупи циліндрів проходить через турбіну. Це сприяє прискореному розкручуванню турбіни до необхідної швидкості обертання. Крім того, у цьому режимі може здійснюватися керування положенням перепускного дроселя каталізатора залежно від очікуваного рівня викидів.

Якщо обрано комбінований режим наддуву з використанням як нагнітача, так і компресора турбонагнітача, нагнітач також з'єднується з колінчастим валом двигуна. У цьому режимі ступінь відкривання дроселів нагнітача та компресора турбонагнітача регулюється залежно від умов роботи двигуна. Частка повітря, що спрямовується через кожен із каналів впускної системи, визначається положенням відповідних дроселів, а також швидкістю обертання компресорів. Таке регулювання дозволяє сформувати рівень наддуву, необхідний для забезпечення запитуваного крутного моменту, а також зменшити ризик помпажу компресора. Додатково в цьому режимі регулюється положення перепускного дроселя турбіни, що дозволяє змінювати частку відпрацьованих газів, які проходять через турбіну або в обхід її, і таким чином керувати швидкістю обертання турбіни. Окремо здійснюється керування перепускним дроселем каталізатора з урахуванням очікуваного рівня викидів.

У разі вибору режиму наддуву з використанням лише компресора турбонагнітача нагнітач від'єднується від колінчастого вала двигуна, оскільки його механічний привод у цьому режимі не є необхідним. Після цього впускний тракт налаштовується таким чином, що повітря спрямовується

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

виключно через канал компресора турбонагнітача: дросель компресора повністю відкривається, а дросель нагнітача закривається. У цьому режимі також здійснюється регулювання перепускного дроселя турбіни для забезпечення бажаної швидкості її обертання, а положення перепускного дроселя каталізатора коригується відповідно до прогнозованого рівня викидів двигуна.

Спосіб регулювання положення перепускного дроселя каталізатора ґрунтується на оцінці очікуваного рівня шкідливих викидів двигуна за поточних умов його роботи. Для цього використовуються дані, що надходять від датчиків, розміщених у впускній і випускній системах, які фіксують параметри складу паливоповітряної суміші, температуру впускного повітря та відпрацьованих газів, концентрацію оксидів азоту та інші характеристики. На основі цих даних контролер визначає прогнозований рівень небажаних викидів з урахуванням режиму роботи двигуна [8].

Після цього здійснюється порівняння очікуваного рівня шкідливих викидів із допустимим пороговим значенням. Таке порогове значення може відповідати рівню викидів, який може бути оброблений із використанням лише хвостового каталізатора без перевищення встановлених нормативів, зокрема законодавчо визначених або пов'язаних із класом екологічності двигуна.

У разі якщо очікуваний рівень шкідливих викидів не перевищує допустиме значення, перепускний дросель каталізатора повністю відкривається. За таких умов відпрацьовані гази як з першої, так і з другої камери спрямовуються в обхід ближнього каталізатора через перепускний канал. Відпрацьовані гази першої камери при цьому проходять через турбіну або її перепускний канал, залежно від положення перепускного дроселя турбіни, після чого надходять у випускний канал турбіни і далі в перепускний канал каталізатора. Завдяки меншому гідравлічному опору перепускного каналу значна частина або весь потік відпрацьованих газів проходить в обхід

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

ближнього каталізатора. Аналогічним чином відпрацьовані гази другої камери також можуть спрямовуватися безпосередньо в перепускний канал каталізатора. Такий режим може застосовуватися для зменшення частоти регенерації ближнього каталізатора за умов, коли рівень викидів залишається допустимим.

Якщо ж прогнозований рівень шкідливих викидів перевищує порогове значення, додатково визначається, чи перебуває двигун у режимі холодного запуску. Під час холодного запуску очікується підвищений рівень шкідливих викидів, а температура каталізаторів може бути нижчою за робочу, що знижує їх ефективність.

У разі холодного запуску перепускний дросель каталізатора повністю закривається, унаслідок чого весь потік відпрацьованих газів з першої та другої камер спрямовується через ближній каталізатор, а потім через хвостовий каталізатор. Такий режим сприяє швидшому прогріванню ближнього каталізатора до робочої температури та забезпечує обробку шкідливих викидів навіть до досягнення повної каталізаторної активності. Це є більш доцільним рішенням порівняно з обходом ближнього каталізатора в умовах холодного запуску, коли рівень викидів є підвищеним.

Якщо холодний запуск відсутній, а очікуваний рівень шкідливих викидів перевищує порогове значення, положення перепускного дроселя каталізатора регулюється плавно залежно від прогнозованого рівня викидів. За таких умов допускається частковий обхід ближнього каталізатора, але в межах, що не призводять до перевищення допустимого рівня шкідливих викидів. Контролер визначає максимально допустимий ступінь відкривання перепускного дроселя, за якого забезпечується відповідність екологічним вимогам і водночас мінімізується потік відпрацьованих газів через ближній каталізатор, що дозволяє знизити навантаження на нього та зменшити потребу в регенерації.

					<i>KPM.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Спосіб регулювання роботи турбонагнітача і нагнітача призначений для усунення явища помпажу компресора турбонагнітача. Помпаж компресора є небажаним режимом, який виникає у випадку, коли компресор працює з високою частотою обертання і подає більшу кількість повітря, ніж двигун здатний спожити за одиницю часу. У такій ситуації підвищений тиск на виході компресора може призводити до зменшення його швидкості обертання, а відповідно і швидкості обертання турбіни. Після споживання частини стисненого повітря двигуном швидкість турбіни знову зростає, що може повторно створювати умови для помпажу. За відсутності зміни режимів роботи двигуна такі коливання можуть повторюватися багаторазово, що негативно впливає на стабільність наддуву та роботу двигуна в цілому.

Для усунення цих явищ у системі двигуна використовується спільна робота турбонагнітача і нагнітача. Спочатку здійснюється визначення наявності помпажу компресора турбонагнітача. Таке визначення може виконуватися контролером на основі аналізу параметрів, зокрема швидкості обертання вала турбонагнітача, тиску у впускному каналі після компресора та інших пов'язаних величин.

У разі відсутності помпажу робота системи не змінюється. Якщо ж виявлено помпаж компресора, ініціюється підключення нагнітача до колінчастого вала двигуна за допомогою електронно-керованої муфти, унаслідок чого компресор нагнітача починає забезпечувати додатковий наддув. Якщо нагнітач уже був підключений до двигуна, додаткові дії з його з'єднання не виконуються.

Після цього виконується перерозподіл потоків повітря шляхом зменшення ступеня відкриття дроселя компресора турбонагнітача та одночасного збільшення ступеня відкриття дроселя нагнітача. Величина таких змін визначається залежно від поточних умов виникнення помпажу та режиму роботи двигуна. Зменшення подачі повітря через компресор турбонагнітача сприяє зниженню ймовірності помпажу, тоді як збільшення

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

подачі повітря через нагнітач дозволяє зберегти необхідний рівень наддуву і запобігти зниженню крутного моменту двигуна. Якщо до моменту виникнення помпажу двигун працював лише з турбонаддувом, дросель нагнітача міг бути повністю закритий і відкривається лише після виявлення помпажу. Якщо ж двигун працював у комбінованому режимі наддуву, дросель нагнітача міг бути вже частково відкритим і додатково відкривається.

Далі виконується повторна перевірка наявності помпажу. Якщо помпаж зберігається, процес корекції повторюється з подальшим зменшенням подачі повітря через компресор турбонагнітача та збільшенням подачі через нагнітач. За необхідності можуть виконуватися додаткові дії, наприклад зменшення загальної кількості впускного повітря шляхом регулювання основного дроселя.

Після усунення помпажу визначається поточний режим наддуву, який був активний до втручання в систему. Якщо початково двигун працював у режимі наддуву лише від турбонагнітача, нагнітач поступово виводиться з роботи: його дросель закривається, дросель компресора турбонагнітача відкривається, а муфта роз'єднує нагнітач з колінчастим валом. У разі електричного приводу нагнітача може додатково припинятися робота електродвигуна.

Якщо ж початково використовувався комбінований режим наддуву, ступені відкривання дроселів компресора турбонагнітача і нагнітача повертаються до значень, які відповідали нормальним умовам роботи до виникнення помпажу. Таким чином, коригування параметрів є тимчасовим і спрямоване виключно на усунення нестабільного режиму, після чого система повертається до оптимального режиму наддуву.

Згідно дослідних даних при використанні подвійного наддуву питома ефективна витрата палива зменшується на 2% (в нашому випадку на 5 г/(кВт×год) – з 241 до 236 г/(кВт×год)).

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

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Мета дослідження полягає в аналітичному обґрунтуванні економічної доцільності використання системи подвійного наддуву.

У таблиці 4.1 приведені техніко-економічні показники двигуна 4ЧН 8,25/8,41 (Volkswagen EA888) з штатним та вдосконаленим наддувом.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники двигуна

Найменування	Позначення	Розмірність	Базовий двигун	Спроектований двигун
Потужність	N_e	кВт	132	132
Частота обертання	n	хв^{-1}	5100	5100
Діаметр циліндра, м	D	м	0,0825	0,0825
Хід поршня, м	S	м	0,00841	0,00841
Питома витрата палива	g_{ep}	кг/кВт·год	0,241	0,236
Механічний ккд	η_m	-	0,9	0,9
Питома витрата масла	g_m	кг/кВт·год	0,0022	0,0022
Ціна двигуна	Π	грн	700000	800000
Ціна палива	$\Pi_{\text{п}}$	грн/кг	60	60
Ціна масла	Π_m	грн/кг	50	50
Час роботи за рік	t	год	2000	2000
Число контрольних ремонтів	η	-	1	1
Сумарний коефіцієнт по капітальних ремонтах	$\varepsilon_{\min}$	-	1,1	1,1
Коефіцієнт частини вартості роботи	b	-	0,05	0,05

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

Оцінювання економічної ефективності здійснюється відповідно до вимог методичних рекомендацій.

Зазначений підхід використовується для вирішення таких завдань:

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

Розрахунок економічної ефективності

1) Річна продуктивність

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

2) Термін служби

$$T = \frac{t_{кр}}{t}, \text{ рік}$$

3) Річні поточні витрати на паливо

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

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

4) Річні поточні витрати на масло

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

5) Річні витрати на поточний ремонт

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

6) Річні поточні витрати на капітальний ремонт

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

7) Річний економічний ефект у споживача

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

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

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

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

9) Час окупності модернізованого двигуна

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

де ΔK – додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна,

ΔS – річна економія при експлуатації модернізованого двигуна

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

Результати розрахунку економічної ефективності представлені в табл. 4.2.

					КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку економічної ефективності

Найменування	Позначення	Розмірність	Базовий двигун	Спроектований двигун
Річна продуктивність	N	кВт·год/рік	224400,0	224400,0
Термін служби	T	рік	15,0	15,0
Річні поточні витрати на паливо	$Z_{\text{п}}$	грн	3244824,0	3177504,0
Річні поточні витрати на масло	$Z_{\text{м}}$	грн	24684,0	24684,0
Річні витрати на поточний ремонт	$Z_{\text{п.р}}$	грн	2333,3	2666,7
Річні витрати на капітальний ремонт	$Z_{\text{к.р}}$	грн	3818,2	4363,6
Річний економічний ефект у споживача	U_1	грн	3275659,5	3209218,3
	U_1^{16}	грн	3275659,5	-
Річний економічний ефект у споживача від використання спроектованого двигуна	$E_{\text{к}}$	грн	206651,7	
Додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна	ΔK	грн	100000,0	
Річна економія при експлуатації модернізованого двигуна	ΔS	грн	66441,2	
Час окупності модернізованого двигуна	$T_{\text{окуп}}$	рік	1,51	
		місяць	18,06	

Річний економічний ефект спроектованого двигуна в порівнянні з базовим двигуном за рахунок використанням подвійного наддуву у розмірі 206651,7 грн. Заміна базового двигуна окупиться приблизно за 1,5 роки.

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Система повітропостачання автомобільного бензинового двигуна є однією з ключових підсистем силової установки, яка безпосередньо впливає на потужність, економічність, екологічні показники та надійність роботи двигуна. До її складу входять повітряний фільтр, впускні канали і колектори, дросельні вузли, турбонагнітачі та/або нагнітачі, проміжні охолоджувачі наддувного повітря, системи керування повітряними потоками та численні датчики. Експлуатація, технічне обслуговування і ремонт цих елементів пов'язані з підвищеною небезпекою для персоналу, що зумовлює необхідність чіткого дотримання вимог охорони праці.

Під час експлуатації системи повітропостачання основними небезпечними і шкідливими виробничими факторами є рухомі та обертові елементи, підвищені температури поверхонь, надлишковий тиск у впускному тракті, можливість раптового викиду стисненого повітря, а також наявність шуму і вібрацій. У двигунах із наддувом додаткову небезпеку становлять турбонагнітачі та нагнітачі, які працюють на високих частотах обертання і можуть мати температуру корпусу понад 700–900 °С. Недотримання правил безпеки під час експлуатації таких агрегатів може призвести до опіків, травмування рухомими частинами або ураження уламками в разі руйнування деталей.

Забезпечення безпечної експлуатації системи повітропостачання передбачає дотримання встановлених режимів роботи двигуна, недопущення перевищення допустимих значень тиску і температури, регулярний контроль стану фільтрувальних елементів і герметичності впускного тракту. Забороняється експлуатація двигуна з пошкодженими або знятими захисними кожухами, особливо в зоні ремінного приводу, турбонагнітача та вентилятора охолодження. Усі роботи з огляду та перевірки системи повітропостачання

					<i>КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

повинні виконуватися лише після зупинки двигуна і його охолодження до безпечної температури.

Особливу увагу необхідно приділяти охороні праці під час технічного обслуговування системи повітропостачання. До таких робіт належать очищення або заміна повітряного фільтра, перевірка стану дросельного вузла, очищення впускного колектора від нагару, перевірка герметичності з'єднань, обслуговування турбонагнітача та проміжного охолоджувача наддувного повітря. Під час виконання цих операцій персонал може піддаватися дії пилу, аерозолів, залишків палива та мастильних матеріалів, що потребує використання засобів індивідуального захисту органів дихання, очей і шкіри.

Перед початком технічного обслуговування обов'язково слід знеструмити електричні кола системи керування двигуном, від'єднавши акумуляторну батарею. Це дозволяє уникнути випадкового спрацювання електроприводів дросельних заслінок, електричних нагнітачів або виконавчих механізмів, що може призвести до травмування. Роботи з демонтажу елементів повітропостачання слід виконувати з використанням справного інструменту, уникаючи прикладання надмірних зусиль, які можуть спричинити пошкодження деталей або раптовий зрив кріплень.

Під час обслуговування турбонагнітачів особливу небезпеку становлять залишковий тиск у впускному тракті та висока температура корпусу. Перед виконанням будь-яких робіт необхідно переконатися у повному зниженні тиску та охолодженні агрегату. Забороняється перевіряти люфт ротора турбонагнітача або обертати його вручну без захисних рукавиць, оскільки кромки лопаток можуть бути гострими, а поверхні – забрудненими продуктами згоряння.

Ремонт системи повітропостачання належить до робіт підвищеної небезпеки, особливо коли він пов'язаний з розбиранням турбонагнітачів, нагнітачів або зварювальними і термічними операціями на впускних колекторах. Такі роботи повинні виконуватися лише у спеціально обладнаних

					<i>KPM.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

приміщеннях, з дотриманням вимог пожежної безпеки та вентиляції. У приміщеннях для ремонту повинні бути встановлені місцеві відсмоктувачі для видалення пилу та шкідливих газів, а також засоби пожежогасіння.

Під час ремонту елементів системи повітропостачання необхідно суворо дотримуватися технологічної документації виробника. Самовільна заміна матеріалів, зміна геометрії впускних каналів або застосування несертифікованих деталей може не лише погіршити характеристики двигуна, а й створити додаткові небезпеки, пов'язані з руйнуванням деталей під дією тиску або вібрацій. Особливо це стосується двигунів з турбонаддувом, де навіть незначне порушення балансування може призвести до аварійного виходу агрегату з ладу.

Важливою складовою охорони праці є також забезпечення ергономічних умов роботи персоналу. Роботи з обслуговування та ремонту системи повітропостачання часто виконуються у важкодоступних зонах моторного відсіку, що може призводити до перевантаження опорно-рухового апарату. Тому рекомендується використовувати підйомні пристрої, оглядові ями або підйомники, а також дотримуватися раціональних прийомів праці, що зменшують фізичне навантаження.

Окрему увагу слід приділяти питанням електробезпеки. Сучасні системи повітропостачання тісно інтегровані з електронними системами керування двигуном і містять численні датчики та виконавчі механізми, що працюють під напругою. Під час діагностики та ремонту забороняється виконувати вимірювання або підключення обладнання при ввімкненому запалюванні без відповідної підготовки. Усі електромонтажні роботи повинні виконуватися персоналом, який має відповідну кваліфікацію та допуск.

Значну роль у забезпеченні охорони праці відіграє навчання та інструктаж персоналу. Працівники, які виконують експлуатацію, обслуговування та ремонт систем повітропостачання, повинні проходити первинний, повторний та позаплановий інструктажі з охорони праці, а також

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

періодичне навчання з безпечних методів роботи. Знання особливостей конструкції конкретних двигунів і систем наддуву є обов'язковою умовою безпечної роботи.

Система повітропостачання автомобільного бензинового двигуна відіграє визначальну роль у формуванні екологічних показників роботи силової установки, оскільки саме від якості подачі повітря, його кількості, температури та рівномірності розподілу між циліндрами значною мірою залежать процеси сумішоутворення і згоряння палива. Порушення нормальної роботи системи повітропостачання призводить до неповного згоряння палива, підвищення викидів токсичних компонентів відпрацьованих газів і, як наслідок, до негативного впливу на довкілля та здоров'я людини.

Під час експлуатації двигуна з несправною або забрудненою системою повітропостачання зростає концентрація таких шкідливих речовин, як оксид вуглецю (CO), незгорілі вуглеводні (HC), оксиди азоту (NO_x) та тверді частинки. Недостатня подача повітря або порушення його розподілу між циліндрами призводять до збагачення паливоповітряної суміші, що збільшує викиди CO і HC. У двигунах з наддувом додатковим фактором екологічної небезпеки є підвищена температура згоряння, яка за відсутності належного керування може спричинити інтенсивне утворення оксидів азоту.

Забезпечення екологічної безпеки при експлуатації системи повітропостачання передбачає підтримання її технічного стану на рівні, що гарантує стабільні параметри подачі повітря в усьому діапазоні режимів роботи двигуна. Регулярна заміна або очищення повітряних фільтрів дозволяє зменшити опір впускного тракту та забезпечити необхідну кількість повітря для повного згоряння палива. Експлуатація двигуна з забрудненим фільтром не лише погіршує екологічні показники, а й призводить до підвищеного споживання палива та зростання викидів CO₂.

Особливе значення для екологічної безпеки мають системи наддуву та проміжного охолодження наддувного повітря. Справний турбонагнітач або

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

нагнітач забезпечує підвищення коефіцієнта наповнення циліндрів і дозволяє реалізувати концепцію зменшення робочого об'єму двигуна (downsizing) без втрати потужності. Це, у свою чергу, сприяє зниженню питомих викидів CO₂. Однак порушення герметичності наддувного тракту або несправності системи керування наддувом можуть призводити до нестабільної роботи двигуна та різкого погіршення екологічних показників.

Під час технічного обслуговування системи повітропостачання важливим аспектом екологічної безпеки є запобігання потраплянню забруднюючих речовин у навколишнє середовище. Очищення впускних колекторів, дросельних вузлів та елементів системи наддуву супроводжується утворенням нагару, пилу і аерозолів, які містять продукти неповного згоряння палива та частинки мастильних матеріалів. Такі відходи повинні збиратися у спеціальні контейнери і утилізуватися відповідно до чинних екологічних норм, а не видалятися у побутові стічні системи або на відкритий ґрунт.

Екологічна безпека під час ремонту системи повітропостачання тісно пов'язана з питаннями поводження з відходами та використанням хімічних засобів. Мийні рідини, розчинники та очищувачі, що застосовуються для видалення нагару і забруднень, можуть містити леткі органічні сполуки, небезпечні для атмосфери. Тому ремонтні роботи повинні виконуватися у приміщеннях з ефективною вентиляцією та системами локального відсмоктування, що дозволяє мінімізувати викиди шкідливих речовин у повітря робочої зони і навколишнє середовище.

Важливу роль у забезпеченні екологічної безпеки відіграє правильне функціонування систем рециркуляції відпрацьованих газів та систем нейтралізації викидів, які тісно взаємодіють із системою повітропостачання. Несправності у впускному тракті можуть призводити до некоректної роботи систем EGR, каталізаторів та датчиків складу суміші, що, у свою чергу, знижує ефективність очищення відпрацьованих газів. Тому під час обслуговування системи повітропостачання необхідно контролювати

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

справність датчиків тиску, температури та масової витрати повітря, оскільки вони безпосередньо впливають на екологічні режими роботи двигуна.

Сучасні тенденції розвитку автомобільних двигунів передбачають все більш жорсткі вимоги до екологічних показників, зокрема відповідність нормам Euro 6 і перспективним стандартам. У цьому контексті система повітропостачання розглядається не лише як елемент забезпечення потужності, а й як важливий інструмент зниження шкідливих викидів. Застосування електронних систем керування повітряними потоками, змінної геометрії впускних трактів та комбінованих систем наддуву дозволяє оптимізувати процеси згоряння і зменшити негативний вплив двигуна на довкілля [9].

У ході розгляду питань забезпечення вимог охорони праці при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті системи повітропостачання автомобільного бензинового двигуна встановлено, що дана система є одним з найбільш відповідальних та потенційно небезпечних елементів силової установки. Її конструктивна складність, наявність елементів, що працюють під надлишковим тиском і при високих температурах, а також тісна інтеграція з електронними системами керування двигуном зумовлюють підвищені вимоги до безпеки праці обслуговуючого персоналу.

Аналіз умов експлуатації показав, що основними небезпечними факторами є рухомі та обертові частини системи наддуву, високотемпературні поверхні турбонагнітачів і впускних трактів, можливість раптового викиду стисненого повітря, а також електричні ризики, пов'язані з роботою виконавчих механізмів і датчиків. Недотримання встановлених вимог безпеки може призводити не лише до виробничого травматизму, але й до передчасного виходу з ладу дорогих агрегатів двигуна.

Розгляд особливостей технічного обслуговування і ремонту системи повітропостачання дозволив дійти висновку, що ці види робіт потребують

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

чіткої організації, високого рівня кваліфікації персоналу та суворого дотримання технологічних регламентів виробника. Використання справного інструменту, засобів індивідуального захисту, а також виконання робіт лише після зниження температури і тиску в системі є необхідними умовами запобігання нещасним випадкам. Особливої уваги потребують роботи з турбонагнітачами та нагнітачами, де навіть незначні відхилення від встановлених вимог можуть мати серйозні наслідки.

Важливим аспектом забезпечення безпечних умов праці є екологічна складова, яка тісно пов'язана з функціонуванням системи повітропостачання. Справний стан впускних трактів, фільтрувальних елементів та систем наддуву сприяє повноцінному згорянню палива, зменшенню викидів токсичних компонентів і зниженню питомої витрати палива. Натомість порушення у роботі системи повітропостачання призводять до зростання викидів шкідливих речовин, що негативно впливає як на навколишнє середовище, так і на умови праці персоналу [9].

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що ефективне забезпечення вимог охорони праці при експлуатації, обслуговуванні та ремонті системи повітропостачання автомобільного бензинового двигуна можливе лише за умови комплексного підходу. Такий підхід має поєднувати технічні заходи, організацію безпечних умов праці, належний рівень професійної підготовки персоналу та дотримання екологічних норм. Реалізація цих заходів дозволяє не лише знизити ризик виробничого травматизму, а й підвищити надійність роботи двигунів, покращити їхні екологічні показники та забезпечити відповідність сучасним вимогам безпеки і сталого розвитку автомобільного транспорту.

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

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження системи повітропостачання автомобільного бензинового двигуна та розглянуто можливості підвищення її ефективності на прикладі двигуна 4ЧН 8,25/8,41 (Volkswagen EA888). У ході виконання роботи досягнуто поставленої мети та вирішено основні завдання, що підтверджує практичну й наукову цінність отриманих результатів.

У першому розділі проаналізовано конструктивні особливості та умови експлуатації двигунів сімейства EA888, встановлено їхні переваги, еволюційні відмінності між поколіннями та характерні проблеми. Показано, що система повітропостачання відіграє ключову роль у формуванні потужнісних, економічних та екологічних показників двигуна, а її вдосконалення є одним із найбільш ефективних шляхів підвищення загальної ефективності силової установки.

У другому розділі виконано огляд і аналіз сучасних напрямків удосконалення систем повітропостачання автомобільних двигунів. Розглянуто розвиток систем наддуву, проміжного охолодження наддувного повітря, оптимізацію впускних трактів, зниження аеродинамічних і гідравлічних втрат, електронізацію керування та адаптацію до альтернативних і комбінованих палив. Обґрунтовано, що найперспективнішим напрямком на сучасному етапі є застосування систем подвійного наддуву, які дозволяють поєднати високий крутний момент на малих обертах із високою потужністю на великих навантаженнях.

У третьому розділі виконано аналіз ефективності системи повітропостачання з подвійним наддувом для двигуна 4ЧН 8,25/8,41. Показано, що розділення потоків відпрацьованих газів між підгрупами циліндрів та поєднання роботи турбонагнітача і механічного нагнітача дозволяє зменшити негативний вплив взаємних газодинамічних завад,

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

практично усунути прояви «турбоями» та забезпечити більш рівномірну й широку характеристику крутного моменту. Запропоновані рішення сприяють підвищенню паливної економічності, зниженню теплових навантажень і покращенню екологічних показників двигуна.

У четвертому розділі наведено економічне обґрунтування доцільності впровадження вдосконаленої системи повітропостачання. Доведено, що підвищення ефективності роботи двигуна та зниження витрати палива в процесі експлуатації можуть компенсувати збільшення вартості системи наддуву, забезпечуючи економічний ефект у довгостроковій перспективі.

П'ятий розділ присвячено забезпеченню вимог охорони праці під час експлуатації, технічного обслуговування та ремонту системи повітропостачання автомобільного бензинового двигуна. Розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, заходи щодо запобігання травматизму, вимоги до безпечної роботи з елементами наддуву, а також значний підрозділ з екологічної безпеки. Показано, що дотримання вимог охорони праці та екологічних норм є необхідною умовою безпечної й ефективної експлуатації сучасних двигунів.

У цілому результати роботи підтверджують, що вдосконалення системи повітропостачання шляхом застосування подвійного наддуву є технічно обґрунтованим і перспективним напрямком розвитку бензинових автомобільних двигунів. Запропоновані рішення забезпечують підвищення потужності та економічності, зниження токсичності відпрацьованих газів, покращення динамічних характеристик і відповідність сучасним вимогам охорони праці та екологічної безпеки. Отримані висновки можуть бути використані в навчальному процесі, а також під час проєктування та модернізації систем повітропостачання автомобільних двигунів.

					<i>КРМ.142.6221м.25.04.00.ПЗ</i>	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. https://www.autoevolution.com/news/volkswagen-tsi-engines-explained-60143.html?utm_source=chatgpt.com.
2. Артюх О. М., Дударенко О. В., Кузьмін В. В., Сосик А. Ю., Щербина А. В. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 264 с.
3. Шапко В. Ф., Шапко С. В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. Харків : Точка, 2016. – 232 с.
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Twincharger?utm_source=chatgpt.com.
5. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни : підручник. Київ : Арістей, 2006. – 476 с.
6. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах / за редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. Т. 1: Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. 493 с.
7. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах / за редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. Т. 6: Надійність ДВЗ. 421 с.
8. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.
9. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

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