

ЛЕКЦІЯ № 13. ЕЛЕКТРОННЕ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

План лекції. Об'єднане керування запаленням і подачею палива. Вплив конструкції двигуна на обсяг шкідливих викидів. Каталітичні конвертери (нейтралізатори). Лямбда-контроль в замкнутому контурі керування. Контроль вихлопу дизеля. Система Cartronic компанії Bosch. Система GDI (Mitsubishi). Система Bosch Motronic M3. Безпосереднє впорскування палива (Bosch). Напрямки вдосконалення систем керування двигуном.

Оскільки поряд з вимогами підвищення якості роботи двигуна внутрішнього згоряння зберігаються й вимоги по зниженню шкідливих викидів, інженери постійно досліджують усі можливості керування двигуном. Контроль викидів стає навіть більш важливим, тому що з кожним роком зростають вимоги щодо зменшення викидів шкідливих газів. В даній темі розглянуті деякі з існуючих і потенційних областей керування роботою двигуна внутрішнього згоряння. Хоча деякі із загальних питань керування двигуном вже були розкриті у двох попередніх темах, у даній темі ми більш докладно розглянемо додаткові аспекти керування й методи регулювання двигунів. Ось перелік деяких питань із вже вказаних головних проблем:

- момент запалювання суміші;
- кут випередження;
- дозування палива;
- рециркуляція вихлопного газу;
- очищення паливного бака;
- швидкість холостого ходу.

Система оптимального керування двигуном може бути представлена стандартною трьохкаскадною моделлю, показаною на рис. 7.1, на якій показаний зворотний зв'язок замкненого контуру керування, яка властива системам регулювання, що враховують такі фактори, як:

- лямбда-показник;
- детонація;

- частота обертання двигуна.

На рис. 7.2 показана блок-схема розширеної системи керування двигуном. Ряди «входів» і «виходів» допомагають добре представити всю складність системи.



Рисунок 7.1 - Стандартна функціональна схема контуру керування двигуном

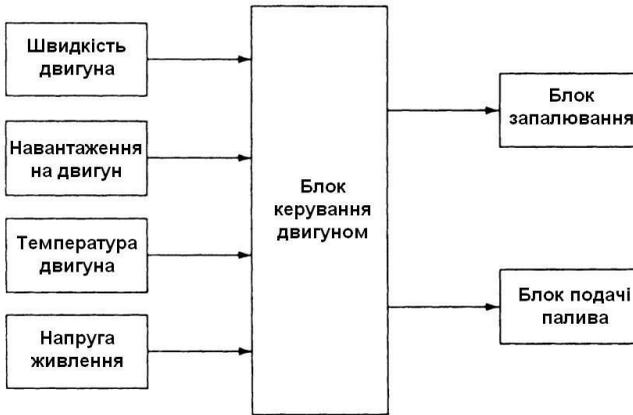
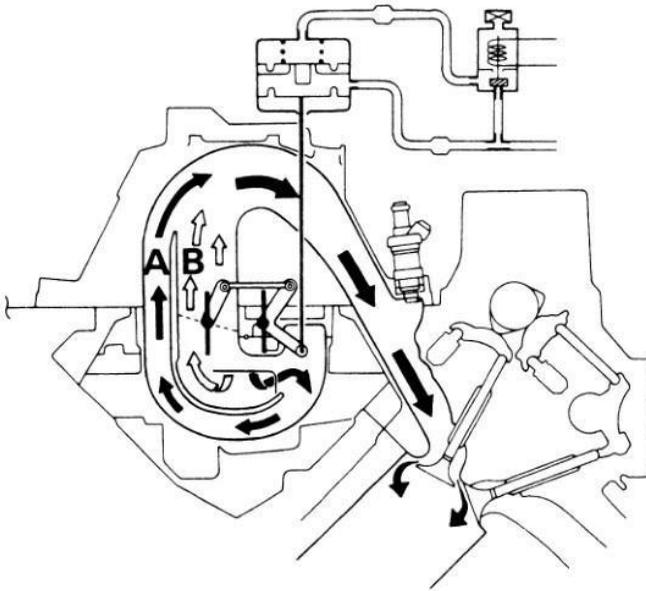


Рисунок 7.2 - Узагальнена блок-схема системи керування запалюванням і подачею палива

Змінюваний впускний тракт.

Досягнення максимальної ефективності роботи двигуна, неможливо на двигунах з постійними трактами. Довжина впускного тракту визначає швидкість всмоктуваного повітря й, зокрема, поширення хвиль тиску, викликуваних насосною дією циліндрів. Ці постійно виникаючі хвилі можна використовувати, щоб поліпшити швидкісний напір паливної суміші, коли вона входить у циліндр, але тільки в тому випадку, коли сили хвилі збігаються з відкриттям впускних клапанів.

Довжина впускного тракту впливає на частоту цих хвиль. Один з методів зміни довжини впускного тракту показаний на рис. 7.3. Рух керуючих клапанів змінює ефективну довжину впускного каналу.



А - довгий тракт; В - короткий тракт

Рисунок 7.3 - Впускний тракт колектора зі змінною довжиною

На рис. 7.4 на прикладі двигуна автомобіля Volvo S80 показано, наскільки дизайн впускного колектора визначає загальний вид двигуна.

Зміни в режимі роботи клапана.

При широко розповсюдженому використанні двигунів зі здвоєними кулачками газорозподілу, де один кулачок застосовується для привода впускних клапанів і один для випускних, можна змінювати перекриття клапанів під час роботи двигуна. Компанія Honda розробила систему; яка помітно збільшує потужність і діапазон крутного моменту тільки за рахунок відкриття обох впускних клапанів на високій частоті обертання. Ця системи показана на рис. 7.5.

При низьких оборотах в двигуні VTEC-E повністю відкритий тільки один впускний клапан на кожному з циліндрів. Таким чином, 12 клапанів контролюють змішання і згоряння повітря й палива. Це забезпечує максимальну ефективність з точки зору найменшого рівня викидів. При більш високих оборотах гідравлічні штовхачі задіють

додаткові клапани, щоб забезпечити якість 16-клапанної роботи двигуна.



Рисунок 7.4 - Двигун автомобіля Volvo (зверніть увагу на особливості конструкції впускного колектора)

У системі компанії BMW (рис. 7.6), для керування положенням кулачка відносно приводного механізму використовується тиск масла. Положення кулачків визначається по відповідних установах карти постійної пам'яті в блоці керування.

Також відома система, яка не тільки дозволяє міняти вибір моменту відкриття клапана, але й період відкриття. Система відома як активне регулювання клапана (active valve train - AVT). Вона обіцяла дати подальший розвиток конструкції газорозподільного механізму з кулачками постійного профілю.

Розроблені ще більш ефективні версії цього методу. Відкриття впускних та випускних клапанів здійснюється гідравлічними приводами, що працюють при тиску до 200 Бар. Керування потоком масла до приводів клапанів здійснюється швидкодіючим сервоклапаном.

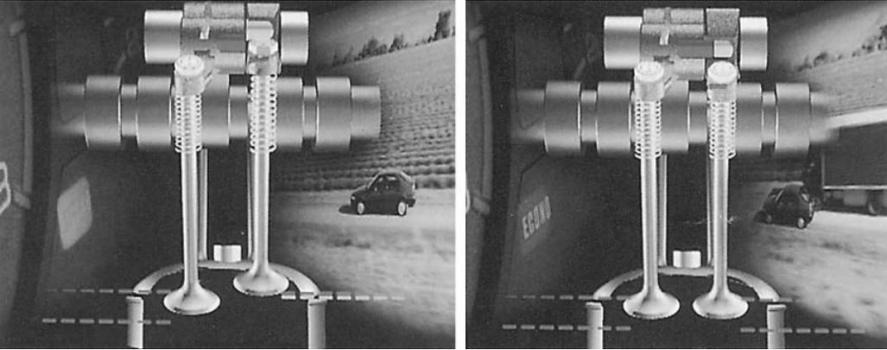


Рисунок 7.5 - Система керування клапанами в автомобілів Honda

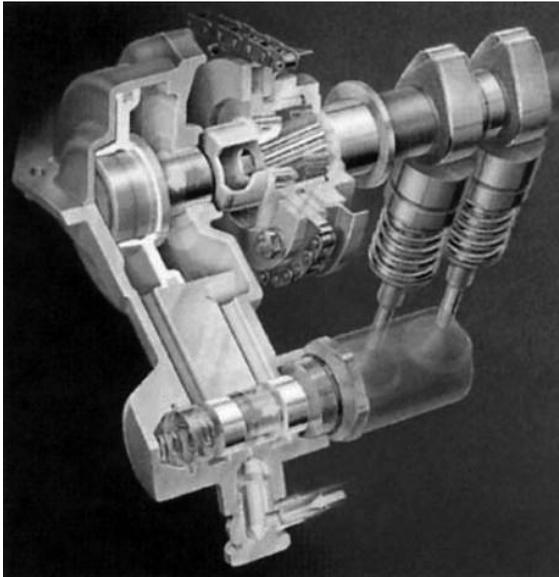


Рисунок 7.6 - Регулювання моменту відкриття клапанів у двигуні компанії BMW

Контроль факела згоряння й тиску.

Тривають дослідження зі створення ефективних по вартості датчиків для визначення якості факела й тиску в камері згоряння. Ці датчики використовуються поки лише в дослідницьких цілях, тому що в цей час вони надзвичайно дорогі для використання в серійному виро-

бництві. Коли вони стануть доступні, ці датчики забезпечать миттєвий зворотний зв'язок замкненого контуру керування процесом згоряння. Це буде особливо важливо для двигунів, що використовують збіднену суміш.

Лямбда-датчики широкого діапазону.

Більшість датчиків кисневого показника в замкненому контурі керування забезпечує оптимальний контроль відносини повітря-паливо і підтримують його близьким до стехіометричного відношення (14,7:1). Тепер існує датчик, здатний забезпечити лінійний вихід у діапазоні між значеннями відносини від 12:1 і до 24:1. Це дозволяє здійснити зворотний зв'язок у замкненому контурі керування в значно більш широкому діапазоні експлуатаційних режимів.

Інжектори з повітряним екрануванням.

Якщо в сопло інжектора ввести швидкий струмінь повітря, дисперсія палива значно поліпшується. Розмір крапель може бути зменшений до значень нижче 50 мкм у режимі холостого ходу. На рис. 7.7 показаний інжектор з повітряним екрануванням.

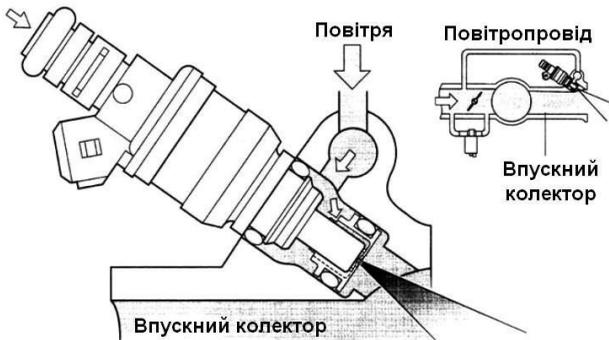


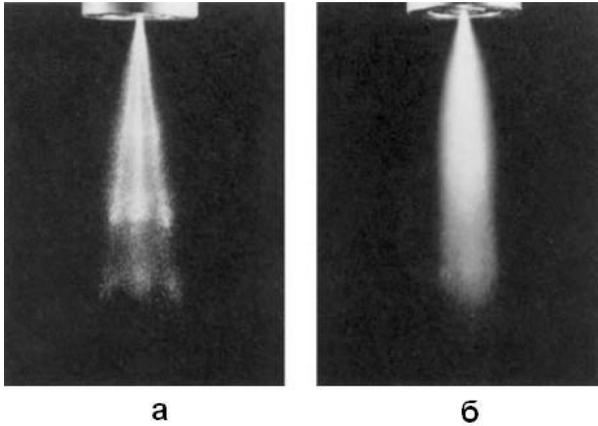
Рисунок 7.7 - Клапан інжектора з повітряним екрануванням

На рис. 7.8 на двох світлинах проілюстрований ефект повітряно-го екранування. На одній світлинці екранування немає, а на іншій показане впорскування з повітряним екрануванням. Візуально помітно поліпшення дисперсії й зменшення розміру крапель при екрануванні.

Бортова діагностика.

На рис. 7.9 показана система керування двигуном Motronic M5 (компанія Bosch) з бортовою діагностикою OBD-2. Бортова діагности-

ка (on - board diagnostics- OBD) стала дуже важливою частиною системи, що забезпечує тривалу експлуатацію автомобіля із чистим вихлопом.



а - інжектор без екранування;

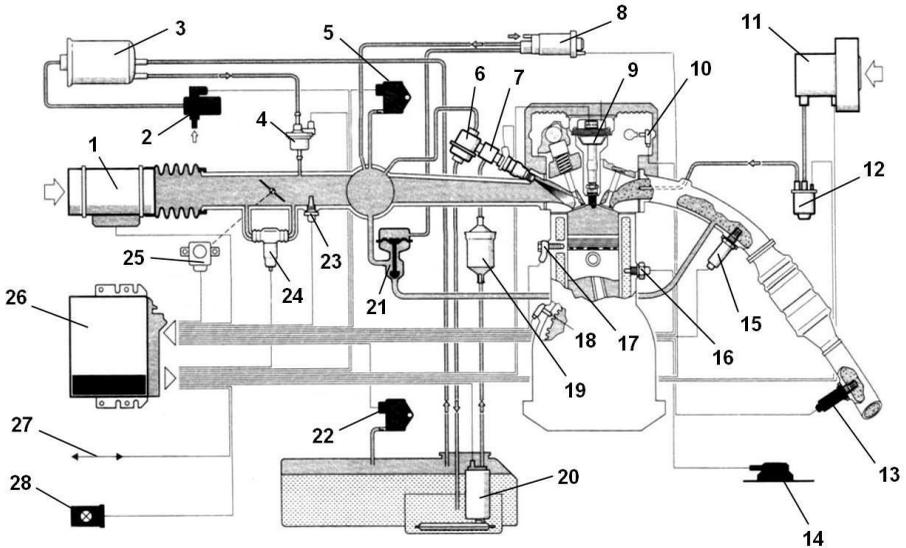
б - інжектор зі струменем екранованим повітрям

Рисунок 7.8 - Поліпшення дисперсії палива за рахунок застосування інжектора з повітряним екрануванням

Багато країн тепер вимагають всебічної діагностики всіх компонентів, що впливають на вихлоп. Індикатор попередить водія про будь-яку виявлену помилку. Система бортової діагностики OBD-2 покликає стандартизувати безліч різноманітних методів, використовуваних різними виготовлювачами. Можливо, у найближчому майбутньому відбудеться перехід до всеосяжної діагностики транспортного засобу через загальний інтерфейс.

Цифрова електроніка дозволяє контролювати й датчики, і приводи. Це досягається розміщенням у пам'яті настановних значень для всіх робочих станів датчиків і приводів. Якщо буде виявлене відхилення від цих значень, інформація зберігається в пам'яті блоку керування і може бути виведена в майстерні при пошуку несправності.

Дуже важливий контроль системи запалювання, оскільки осічки запалювання не тільки збільшують вихлоп вуглеводнів, але й дають можливість незгорілому паливу увійти в каталітичний конвертер і горіти там. Це може викликати перевищення нормальних температур роботи конвертера й ушкодити його.



- 1 - вимірник масової витрати повітря; 2 - ізоляційний клапан; 3 - ємність з активованим вугіллям; 4 - клапан випуску повітря з паливного баку; 5 - датчик тиску впускної труби; 6 - регулятор тиску палива; 7 - паливна форсунка; 8 - регулятор тиску; 9 - котушка запалювання; 10 - фазовий датчик; 11 - вторинний повітряний насос; 12 - вторинний повітряний клапан; 13, 15 - лямбда-датчик; 14 - датчик прискорення кузова автомобіля; 16 - датчик температури; 17 - датчик детонації; 18 - датчик обертів двигуна; 19 - паливний фільтр; 20 - електричний паливний насос; 21 - клапан рециркуляції; 22 - датчик перепаду тиску; 23 - датчик температури повітря; 24 - регулятор холостого ходу; 25 - потенціометр дросельної заслінки; 26 - блок керування двигуном; 27 - діагностичний інтерфейс; 28 - діагностична лампа

Рисунок 7.9 - Система Motronic M5 з бортовою діагностикою OBD-2

Щоб контролювати запалення й згорання в циліндрах, використовується точний датчик швидкості обертання колінчатого вала. Осічка запалювання на мить змінює обертаючий момент колінчатого вала, що викликає його нерівномірне обертання. Це явище можна контролювати, що дозволяє миттєво виявляти пропуск запалювання.

Для реалізації функцій системи OBD-2 також потрібен ряд інших датчиків. Наприклад, ще один лямбда-датчик, розміщений після каталітичного конвертера, контролює функціонування ORD-2. Датчик

вхідного тиску повітря й клапан необхідні для керування фільтром з активованого деревного вугілля, щоб зменшувати й контролювати емісію випарів з паливного бака.

Датчик різницевого тиску також контролює проникність паливного бака. Потрібне значне ускладнення електроніки блоку керування, щоб управляти системою OBD додатково до виводу індикації про несправності для водія. Така повна контролююча система дозволяє одержати більший ефект у скороченні емісії транспортного засобу, ніж всілякі витончені інструкції щодо щорічного регулювання емісії.

Шкідливі викиди та конструкція двигуна.

Багато деталей конструкції двигуна істотно впливають на утвір викидів. Ясно, що фінальний проект двигуна майбутнього стане компромісом між суперечливими інтересами. Основні області цих інтересів обговорюються далі, в наступних розділах.

Конструкція камери згоряння.

Головне джерело емісії вуглеводню - це незгоріле паливо, яке перебуває в контакті зі стінками камери згоряння. Із цієї причини область стінок повинна мати як можна меншу поверхню й найпростішу форму. Теоретичний ідеал - сфера, але сфера не зовсім практична. Важливо гарне перемішування порції суміші в циліндрі, оскільки це сприяє більш якісному й швидкому горінню. Можливо, ще важливіше гарантовано гарне перемішування в області свічі запалювання. Це поліпшує запалення. Краще всього поміщати свічу запалювання в центр камери згоряння, оскільки це зменшує ймовірність підривного згоряння за рахунок скорочення відстані, яке повинен пройти фронт полум'я.

Ступінь стиску.

Чим вище ступінь стиску, тим вище теплова ефективність двигуна, і отже, краще якість його роботи й менші витрати палива. Існують дві головні перепони на шляху до більш високих ступенів стиску - збільшення емісії й тенденція до детонації. Проблема з емісією виникає через високу температуру, яка у свою чергу, викликає більш високий утвір окислів NO_x . Збільшення температури робить паливо-повітряну суміш більш схильною до самозаймання, а отже створює високий ризик підривного згоряння. Країни, у яких протягом деякого часу діяли жорсткі інструкції регулювання емісії, наприклад США і Японія, прагнули розвивати двигуни з більш низькими ступенями стиску. Однак завдяки змінам у конструкції камери згоряння й більш широкішому поширенню циліндрів із чотирма клапанами вкупі з розвитком

систем електронного керування та іншими методами зниження рівня емісії, ступінь стиску за минулі роки зросла.

Вибір моменту й тривалості відкриття клапана.

Вплив моменту спрацьовування клапана на склад вихлопу може бути досить значним. Один з головних факторів - тривалість перекриття клапанів. Це час, протягом якого впускний клапан вже відкритий, але випускний клапан ще не закритий. Тривалість цієї фази визначає кількість вихлопного газу, що залишається в циліндрі, коли випускний клапан нарешті закривається. Цей газ істотно впливає на температуру реакції (більше вихлопного газу - нижче температура) і, отже, на емісію NO_x . Головне протиріччя тут у тому, що на більш високих швидкостях збільшення фази впуску збільшує розвивану потужність. З іншої сторони, це викликає більше перекриття клапанів і на холостому ходу, що може значно збільшувати емісію вуглеводнів. Це протиріччя призвело до введення електронних систем управління моментом і тривалістю відкриття клапанів.

Конструкції колекторів.

Газовий потік у зоні вхідних і випускних колекторів - дуже складний для вивчення об'єкт. Головна причина цієї складності - зміни характеристик потоку, обумовлені не тільки змінами у швидкості двигуна, але також дією циліндрів як насосів. Це насосна дія циліндрів викликає коливання тиску в колекторах. Якщо колектори й системи впуску й випуску розроблені так щоб у відповідний момент часу відбити назад хвилю тиску, можна поліпшити об'ємну ефективність роботи колекторів. Багато двигунів транспортних засобів тепер оснащені трактами впуску регульованої довжини. Довгі тракти використовуються при низьких швидкостях обертання, а вкорочені - при високих.

Розширення дози палива.

Якщо порція паливної суміші може бути введена в циліндр таким способом, щоб більш багата суміш перебувала поблизу свічі запалювання, то в середньому по циліндру суміш може бути набагато більш бідною. Ця ідея може забезпечити більші переваги у витраті палива, але емісія окислів NO_x всі ще може залишатися проблемою. Багато двигунів збідненого згоряння використовують той або інший спосіб розширення палива, щоб зменшити можливість осічки запалювання й нерівної роботи двигуна.

Час прогріву.

Основні викиди, створювані середнім автомобілем, виникають у

процесі прогріву двигуна. Застосування підходящих матеріалів і ретельна пророблення системи охолодження можуть зменшити цю проблему. Деякі системи керування навіть змушують двигун на час прогріву працювати при злегка затриманому запалюванні, щоб він швидше прогрівся.

Рециркуляція вихлопного газу.

Ця методика використовується, насамперед, для того, щоб зменшити пікові температури згоряння й, отже, утворі окислу азоту (NO_x). Рециркуляція вихлопного газу (exhaust gas recirculation - EGR) може бути або внутрішня, за рахунок перекриття клапанів, або зовнішня, через звичайні труби й клапан (рис. 7.10). Певна порція вихлопного газу просто вертається до впускного колектора двигуна.

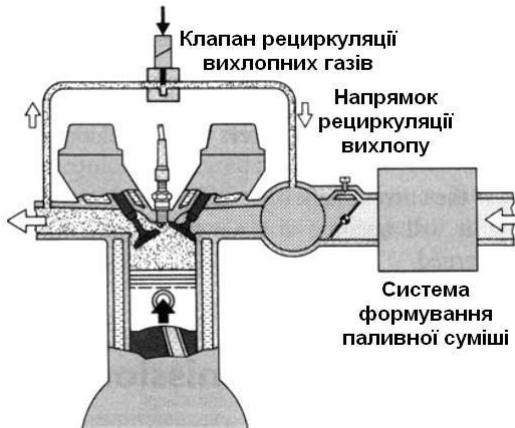


Рисунок 7.10 - Система рециркуляції вихлопного газу

Рециркуляцією управляють за допомогою електроніки по установкам і постійній пам'яті блоку керування двигуном. Це гарантує, що не будуть порушені ходові якості автомобіля, а також, що частка рециркуляції буде контролюватися. Якщо ця частка занадто велика, збільшується емісія вуглеводнів.

На рис. 7.11 показаний вплив частки рециркуляції на вихлоп і витрати палива. Один з недоліків систем EGR полягає в тому, що клапани через деякий період часу можуть забиватися продуктами вихлопу й, таким чином, змінювати фактичний відсоток рециркуляції. Однак тепер вже є клапани, які зменшують цю проблему.

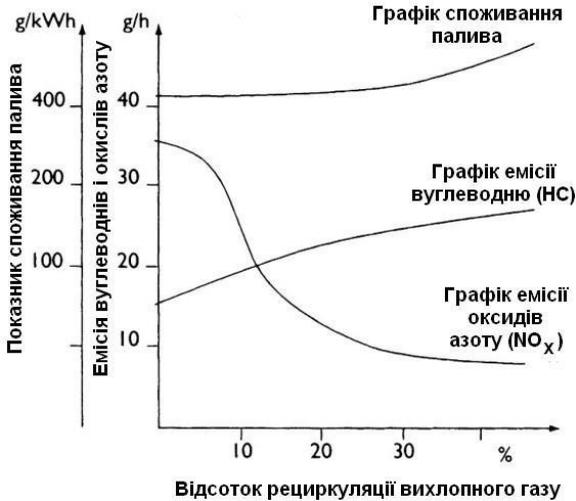


Рисунок 7.11 - Вплив частки рециркуляції на склад вихлопу й витрати палива

Система запалювання.

Система запалювання може впливати на вихлопну емісію двома способами: по-перше, за рахунок якості створеної іскри, і по-друге, вибором моменту утворення іскри. Якість іскри буде визначати її здатність запалити суміш. Тривалість іскри, зокрема, істотна при запаленні більш бідних сумішей. Більш сильна іскра зменшує ймовірність осічок, які можуть призвести до збільшення викиду вуглеводнів.

Зрозуміло, що вибір моменту запалювання є критичним фактором, і як завжди цей вибір є компромісом між потужністю, ходовими якостями автомобіля, витратою палива й емісією. На рис. 7.12 наведений графік, що показує вплив вибору моменту запалювання на емісію й витрати палива. Утворення вугарного газу залежить практично тільки від складу паливної суміші й лише незначно від вибору моменту запалювання. Електронні й програмні системи запалювання внесли істотний вклад на шляху до досягнення рівнів емісії сьогоденних двигунів.

Термічне допалювання палива.

Щоб зменшити частку вуглеводнів у вихлопі, задовго до широкого поширення каталітичних конвертерів використовувалося термічне допалювання палива.

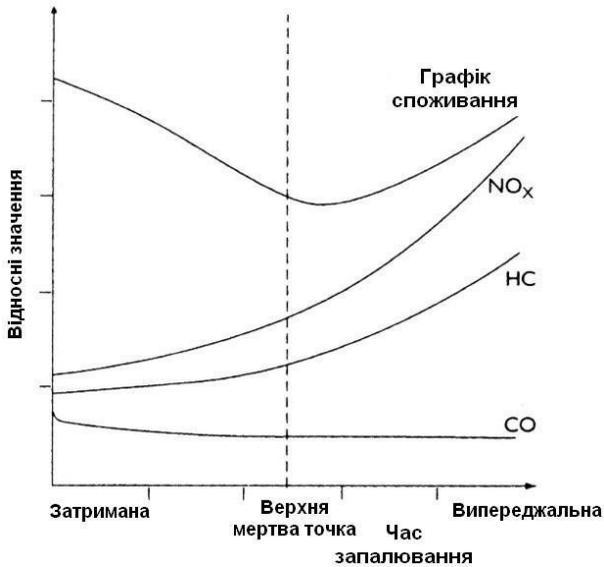


Рисунок 7.12 - Вплив часу запалювання на емісію викидів й споживання палива

Вуглеводні дійсно продовжують горіти у випускному колекторі, а проведені дослідження показали, що вибір матеріалу використovanого колектора, наприклад чавуну або нержавіючої сталі, може мати значимий вплив на скорочення викидів HC. При температурах приблизно 600°C , HC і CO згоряють або окисляться в H_2O і CO_2 . Якщо вводити повітря, у випускний колектор після клапанів, то можна стимулювати процес допалювання палива.

Каталітичні конвертери.

Строгі вимоги по регулюванню викидів у більшості країн світу зробили використання каталітичного конвертера майже обов'язковим. Каталізатор із трьома реакціями (three-way catalyst - TWC) з величезним ефектом використовується більшістю автовиробників. Це дуже простий пристрій, і виглядає він подібно стандартній коробці вихлопного фільтра. Однак для того, щоб конвертер працював правильно, робоча суміш у двигуні повинна бути дуже близькою до стехіометричного відношення. Необхідно гарантувати доступність для каталізатора правильних «інгредієнтів», щоб він виконав свою функцію.

На рис. 7.13 показана внутрішня частина каталітичного конвертера. Існує багато видів вуглеводнів, але наступний приклад ілюструє головну реакцію. Слід сказати, що реакції передбачається здійснювати за участю деякої кількості CO, виробленого двигуном, щоб зменшити NO_x . У цьому одна із причин того, що виготовлювачі були повинні змушувати двигуни працювати на стехіометричній суміші. Ця ж обставина стримує розвиток методів збідненого горіння. Таким чином, навіть дрібні деталі інструкцій з регулювання емісії можуть у дійсності мати дуже серйозний вплив на вибір використовуваних методів скорочення емісії.

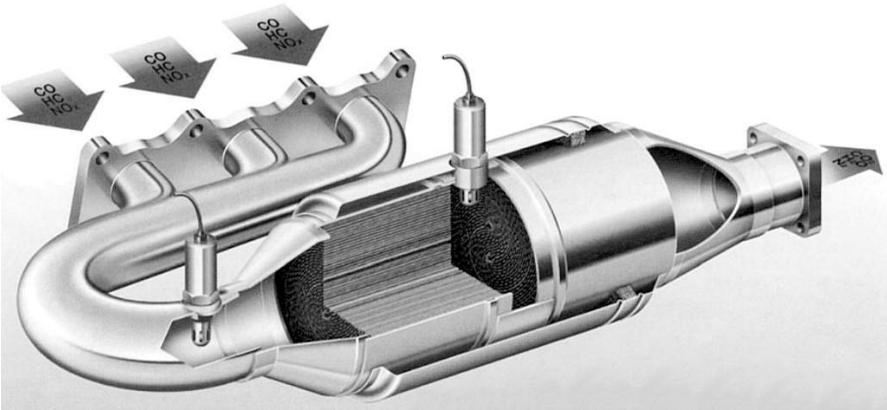


Рисунок 7.13 - Каталітичний конвертер (нейтралізатор)

Герметична система каталітичного конвертера включає в себе труби випускного колектора, лямбда-датчик і OBD II-датчик діагностичної системи. Основний каталітичний перетворювач розроблений як сучасний двошаровий перетворювач з центральною частиною, що має повітряний зазор. Положення каталітичного перетворювача поблизу двигуна забезпечує швидкий час реакції у фазі холодного пуску. Сформована конструкція колектора зменшує загальну вагу транспортного засобу, а також сприяє нижчій тепловій масі каталітичного перетворювача, що відключається. Таким чином, ця інноваційна система вже відповідає майбутнім значенням викидів вихлопних газів.

Керамічна монолітна основа, використовувана як матеріал каталізатора, є алюмо-магнієвим силікатом і завдяки багатьом тисячам дрібних каналів забезпечує більшу площу поверхні. Ця поверхня пок-

рита найтоншою плівкою окису алюмінію, який додатково збільшує ефективну поверхню приблизно у 7 000 разів.

Для каталізаторів використовуються благородні метали. Платина сприяє окисненню HC і CO, а родій допомагає скороченню NO_x. Представлений конвертер - це сучасна конструкція з металевою основою й вбудованим колектором. Тільки один такий каталітичний конвертер, що підтримує три згадані реакції, містить приблизно 3-4 г дорогоцінних металів.

Ідеальний діапазон робочих температур конвертера - від 400 до 800°C. Дуже часта серйозна проблема - це затримка досягнення каталізатором цієї температури з моменту початку роботи двигуна. Вона відома як «час вибігу каталізатора». Використовуються різні методи, що зменшують цей час, оскільки поки каталізатор не нагріється, іде викид шкідливих продуктів згоряння. Можливі рішення - електричний підігрів або пальник, який вводить у конвертер легке паливо. Інша можливість - розміщення конвертера між випускним колектором і трубопроводом глушника. Це значно зменшує «час вибігу», але газовий потік, вібрація й надмірні перепади температури можуть зменшити термін служби каталізатора.

Каталітичним конвертерам загрожують два типи ушкоджень. Перший - використання етильованого палива, яке призводить до відкладання складових свинцю на активних поверхнях і таким чином, зменшує ефективну поверхню каталізатора. Другий - внаслідок осічок запалювання незгоріле в циліндрах паливо буде догоряти в каталізаторі й викличе його перегрів. Компанія BMW, наприклад, використовує на деяких транспортних засобах систему, де датчик контролює високовольтний вихід системи запалювання, і якщо не утворюється іскра, система надалі не подає паливо у «збійний» циліндр.

Ще одне можливе технічне рішення для зниження емісії в період розігріву каталізатора полягає у використанні попереднього конвертера, який електрично нагрівається, малого розміру, як показано на рис. 7.14. Перші випробування цієї системи показують, що емісія вуглеводнів протягом фази розігріву може бути значно зменшена.

Невирішена поки проблема полягає в тому, що для нагрівання попереднього конвертера протягом перших 30 с необхідно мати приблизно 30 кВт теплової потужності. Це вимагає струм порядку 250 А. Одним з рішень проблеми може бути установка додаткової батареї.



Рисунок 7.14 - Попередній конвертер з електричним підігрівом

Для каталітичного конвертера, здатного з оптимальною швидкістю окислити CO і HC при одночасному скороченні окислів NO_x , дуже важливий стан суміші в межах вузької смуги в 0,5 % від лямбда-значення 1. Використовувані в цей час кисневі датчики можуть забезпечити точність в межах приблизно 3 % від вказаного значення лямбда-показника. Коли каталітичний конвертер перебуває в гарному стані, це не створює проблеми завдяки накопичувальній здатності конвертера у відношенні CO і O_2 .

Ушкоджені конвертери, однак, не можуть зберігати достатню кількість цих газів і, отже, стають менш ефективними. Ушкодження конвертера, як вже було сказано раніше, може відбутися із-за перегріву або через «отруєння» свинцем або навіть кремнієм. Якщо склад паливної суміші може підтримуватися в межах 0,5 % від стехіометричного лямбда-показника, конвертер залишиться ефективним, навіть якщо він до деякого ступеня ушкоджений. Зараз стали доступними датчики, які можуть забезпечити необхідну точність. Щоб гарантувати ідеальну роботу конвертера, можна використовувати другий датчик, встановлений вже після конвертера.

Лямбда-контроль у замкненому контурі керування.

Діючі інструкції регулювання викидів зробили вже обов'язковим замкнений контур керування складом паливно-повітряної суміші в комбінації з каталітичним конвертером. У той же час незважаючи на жваві дискусії, інженери не дійшли згоди про те, що лямбда-показник повинен обов'язково дорівнювати одиниці для всіх експлуатаційних режимів. Отже, лямбда-контроль - це система, із замкненим контуром керування, яка діє так, щоб сигнал від кисневого датчика у вихлопі міг безпосередньо впливати на кількість палива, що

вводиться. На рис. 7.15 показана блок-схема системи керування по лямбда-показнику. Результати керування по λ -показнику та дія каталізатора наведені на рис. 7.16.

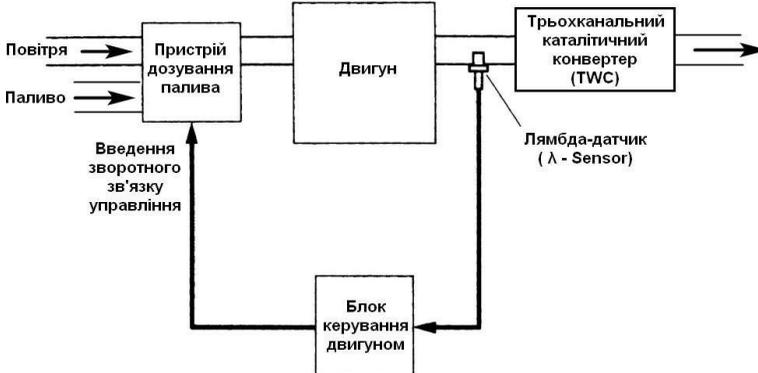


Рисунок 7.15 - Дозування палива в замкненому контурі керування

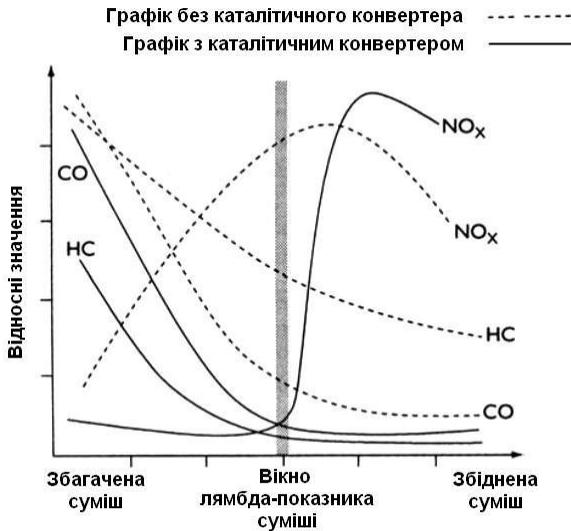


Рисунок 7.16 - Результати керування по λ -показнику та дія конвертера TWC

Принцип дії системи наступний: λ -датчик генерує напругу, пропорційну вмісту кисню у вихлопі, вміст кисню, у свою чергу, пропор-

ційний відношенню «повітря-паливо». При ідеальному регулюванні ця напруга становить приблизно 450 мВ. Якщо напруга, отримана ECU, нижче цього значення (бідна суміш), кількість введеного палива потроху збільшується. Якщо напруга сигналу вище порогу (багата суміш), кількість палива зменшується.

Ця зміна в повітряно-паливному відношенні не повинна бути занадто різкою, оскільки це змусить двигун «смикатися». Щоб запобігти цьому явищу, блок керування двигуном містить інтегратор, який змінює склад суміші протягом певного часу.

Існує також затримка між формуванням суміші в колекторі й виміром вмісту кисню у вихлопному газі. Це обумовлено робочим циклом двигуна й швидкістю суміші на впуску, часом, необхідним вихлопним газам, щоб досягти датчика, і часом реакції датчика.

Цю затримку іноді називають «мертвим часом», і вона може досягати однієї секунди на швидкості холостого ходу й декількох сотень мілісекунд на більш високих швидкостях двигуна. Через «мертвий час», суміш неможливо привести до точного значення $\lambda=1$. Якщо в системі встановлений інтегратор, який може враховувати швидкість двигуна, тоді вдається втримувати значення λ суміші в діапазоні 0,97- 1,03, тобто в межах, у яких TWC найбільш ефективний.

Контроль вихлопу дизеля.

Викиди дизельних двигунів були в значній мірі знижені завдяки змінам конструкції камери згоряння й методів впорскування. Подальші вдосконалення дозволили зробити більш точним керування початком і періодом впорскування. Істотний внесок також вніс метод електронного керування. Щоб керувати емісією викидів, можна використовувати ще ряд методів.

Рециркуляція вихлопного газу.

Як і у випадку бензинових двигунів, рециркуляція вихлопного газу (EGR) використовується, насамперед, для того, щоб зменшити викид окислів NO_x за рахунок зменшення температури реакції у камері згоряння. Однак якщо відсоток рециркуляції стане занадто високим, зросте утвір вуглеводнів і сажі.

Температура усмоктуваного повітря.

Це рішення може застосовуватися у двигунах з турбонаддувом. Якщо повітря пропускається через проміжний теплообмінник і передбачений вимір обсягу цього повітря, то зниження його температури зменшить емісію NO_x . Проміжний теплообмінник встановлюється у

тій самій зоні автомобіля, що й радіатор системи охолодження.

Каталітичний конвертер.

На дизельному двигуні каталізатор може використовуватися щоб зменшити емісію вуглеводнів, але він вплине на утворіння окисненого азоту. Це відбувається тому, що дизельні двигуни завжди працюють з надлишком повітря, щоб гарантувати краще й більш ефективне горіння палива. Тому звичайний каталізатор не відніме кисень від NO_x , щоб окислити вуглеводні, а замість цього ще буде використаний додатковий кисень. Тому розроблені спеціальні конвертери для NO_x .

Фільтри.

Щоб зменшити емісію мікрочастинок (сажі), можуть бути використані фільтри. Вони можуть варіюватися по конструкції від найтоншої сітки, зробленої з керамічного матеріалу, до відцентрових фільтрів і водяних пасток. Не вирішена поки проблема полягає в тому, що фільтри можуть забиватися, що несприятливо впливає на роботу в цілому. Тут використовується ряд технічних прийомів, включаючи відцентрові фільтри.

Системи комплексного керування автомобілем.

Можливість створення системи комплексного керування транспортним засобом з'явилася після розробки систем цифрового контролю. На рис. 7.17 показана схема комплексної системи керувань автомобілем. В принципі, вона вимагає використання всього одного блоку керування, здатного контролювати всі параметри транспортного засобу. На рис. 7.18 показаний один з варіантів з'єднання між собою декількох блоків керування. Однак у дійсності, використовують кілька окремих контролерів (ECU), здатних спілкуватися один з одним через шину даних (CAN).

Переваги централізованого керування.

Переваги централізованого керування можна розділити на дві групи - «входи» і «виходи». Розглянемо всі вихідні величини, необхідні для керування в кожній з нижченаведених областей:

- система запалювання;
- система подачі палива;
- система трансмісії.

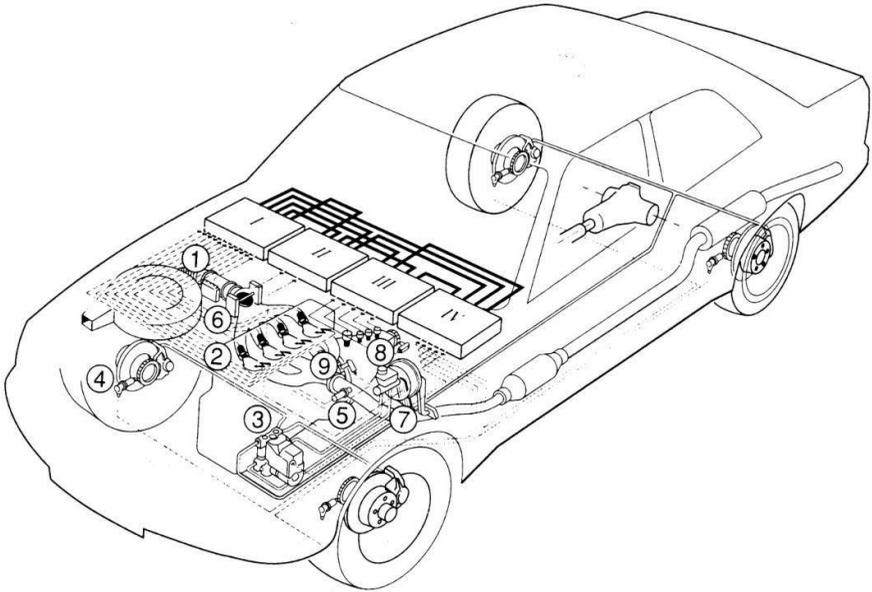
Для зазначених трьох систем керування автомобілем є багато загальних вимог. Наявність однієї централізованої системи керування може потенційно зменшити складність кабельної мережі при одночасному розширенні можливостей контролю.



Рисунок 7.17 - Блок-схема комплексної системи керування автомобілем

Це, фактично, переваги «виходів». Розглянемо загальні умови експлуатації транспортного засобу під час раптового й різкого прискорення й можливі «відповіді» кожної з перерахованих систем. Якби кожна система працювала сама по собі, можливо, що вона не зреагувала б певним чином з урахуванням роботи інших систем.

Наприклад, можуть бути встановлені момент часу запалювання й величина порції палива, але потім ECU трансмісії різко понизив передачу, збільшуючи, таким чином, оберти двигуна. Це у свою чергу, вимагає змін у дозуванні палива й виборі моменту запалювання. Протягом перехідного процесу цілком ймовірно зменшення ефективності роботи й збільшення емісії.



- I - блок керування «Мотронік»; II - електронне управління дросельним клапаном; III - електронне керування трансмісією;
 IV - блок керування системою АБС и тягою;
- 1 - вимірники масової витрати повітря; 2 - впорскування та запалення;
 3 - гідравлічний модулятор системи АБС; 4 - датчик швидкості коліс для системи АБС; 5 - лямбда-датчик; 6 - привод дросельної заслінки;
 7 - датчик педалі газу; 8 - датчик швидкості, регулятор тиску, приводи клапанів; 9 - датчик швидкості обертання двигуна

Рисунок 7.18 - Зв'язки між блоками керування

Таким чином, ідеальне керування можливе лише при єдиному блоці керування або, по крайній мірі, при наявності зв'язку між окремими блоками. Програмування такого керування вимагає, однак, дуже значної потужності обчислювальних модулів. Це стає особливо очевидним, якщо враховувати інші системи керування, наприклад, зчепленням, антиблокуванням гальм, активною підвіскою, кермом.

Система Cartronic компанії Bosch.

Складність об'єднання систем постійно збільшується. Компанія Bosch розробила систему, що використовує ієрархію електронних засобів транспорту. Удосконалення як роботи двигуна, рівня емісії, без-

пеки водія й комфорту, вимагають більшої взаємодії різних електронних систем. Раніше на простому прикладі ми вже продемонстрували потребу в окремих електронних системах, здатних спілкуватися один з одним.

Проект компанії Bosch використовує ієрархічну структуру сигналу, щоб вирішити цю проблему. На рис. 7.19 показано два способи, якими можуть бути зв'язані системи. Перший використовує звичне кабельне розведення, другий - шину CAN.

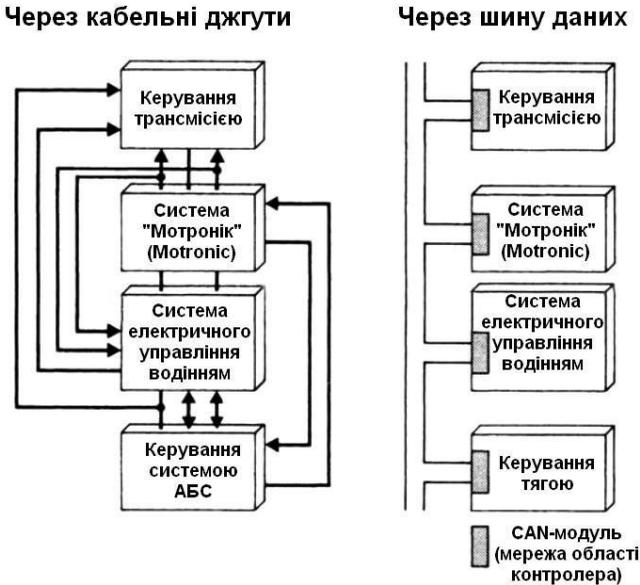


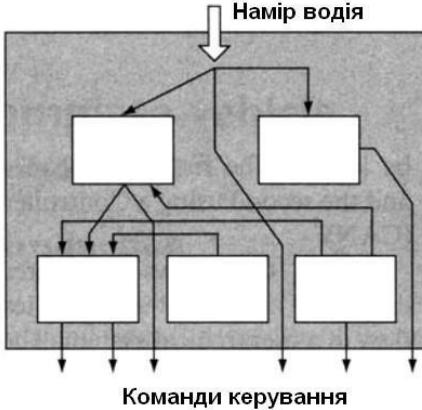
Рисунок 7.19 - Типи зв'язку систем автомобіля

На рис. 7.20 показана відмінність між потоком даних в автономній системі й потоком даних в ієрархічній системі. Система Cartronic використовує принцип, при якому кожна система може керуватися від системи, що займає в ієрархії керування більш високий рівень. Наприклад, інтегровані системи керування двигуном і керування коробкою передач не «спілкуються» безпосередньо між собою, а тільки через систему керування трансмісією яка стоїть вище по ієрархії.

Виробники транспортних засобів продовжують вести дослідження в області комплексних систем керування.

Функції розподілу і поєднання

Потік даних між
окремими системами



Потік даних в
ієрархічній системі

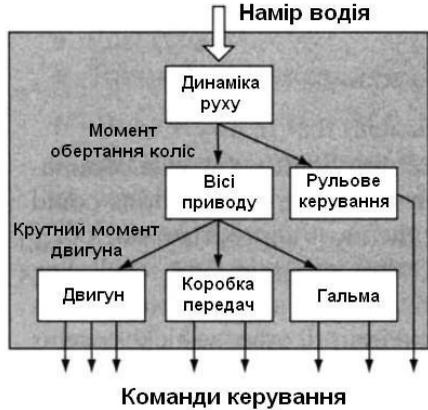


Рисунок 7.20 - Система Cartronic

Все більше й більше систем інтегрується між собою, що призводить до зниження вартості електронного устаткування автомобіля. Одночасно ростуть вимоги до обчислювальної потужності систем, вже є нормою застосування 32-розрядних і скоро стане стандартом застосування 64-розрядних швидкодіючих мікроконтролерів.

Зворотна сторона використання єдиного блоку керування для керування всім транспортним засобом - це вартість заміни блоку керування. При існуючих цінах навіть ECU єдиної системи може недешево коштувати, хоча, в середньому, вартість виготовлення всього транспортного засобу може зменшитися.

Комплексний централізований контроль дає й інші можливі переваги, наприклад розширення бортової діагностики (OBD) для контролю над транспортним засобом у цілому, що потенційно заощаджує час ремонту й експлуатаційний витрати.

Система GDI (Mitsubishi).

Протягом багатьох років компанія Mitsubishi Motors прагнула підвищити ефективність своїх двигунів не тільки з метою задовольнити зростаючі вимоги з боку екології, щоб обмежити негативну дію парникового ефекту, а й значно зменшити витрати палива. Тому Mitsubishi приклала істотні зусилля саме до розвитку двигуна із пря-

ним впорскуванням бензину. Протягом багатьох років інженери вважали, що цей тип двигуна має найбільший потенціал для оптимізації подачі палива й згоряння що, у свою чергу, може забезпечити кращу якість роботи й знизити витрати палива. Однак дотепер так ніхто і не спроектував довершений двигун із прямим впорскуванням палива в циліндр (Gasoline Direct Injection - GDI), придатний для масового виробництва.

Розроблений у компанії Mitsubishi двигун типу GDI (удосконаленого прямого впорскування бензину) - це реалізація мрії інженера.

Для подачі палива звичайні двигуни використовують систему впорскування палива, яка замінила систему карбюрації. Система MPI, або система багатоточкового впорскування, де паливо підводиться до кожного пристрою введення, в даний час є однією з найбільш широко використовуваних систем.

Однак навіть у двигунах MPI є обмеження на умови подачі палива й керування згорянням, тому що паливо змішується з повітрям перед введенням в циліндр. Mitsubishi прагнула розсунути ці межі, розробляючи двигун, де бензин вводиться безпосередньо в циліндр, аналогічно дизельному двигуну, і, крім того, моментом впорскування управляють у точній відповідності за умовами навантаження.

Двигун GDI досяг наступних видатних показників:

- надзвичайно точний контроль порції палива, у результаті згоряння ультрабідних сумішей паливна, ефективність перевищує ефективність дизельних двигунів;
- дуже ефективне впорскування й унікально висока ступінь стиску забезпечують даному двигуну GDI високу ефективність і відмінну приємність, які перевершують такі показники для звичайних двигунів MPI.

На рис. 7.21 показаний розвиток двигунів на шляху до більш високої потужності й ефективності. Технологія, реалізована Mitsubishi для двигуна GDI, є наріжним каменем для наступного покоління високоефективних двигунів. Очевидно, ця технологія буде розвиватися й далі. На рис. 7.22 показаний розвиток системи подачі палива. На рис. 7.23 показаний зовнішній вигляд двигуна із прямим впорскуванням бензину.

Головні цілі двигуна GDI.

Розробка двигуна GDI дозволяє вирішити наступні основні завдання:

- добитися ультранизької витрати палива, кращої, ніж в будь-якого дизельного двигуна;
- забезпечити потужність, що перевершує потужність звичайних двигунів MPI.

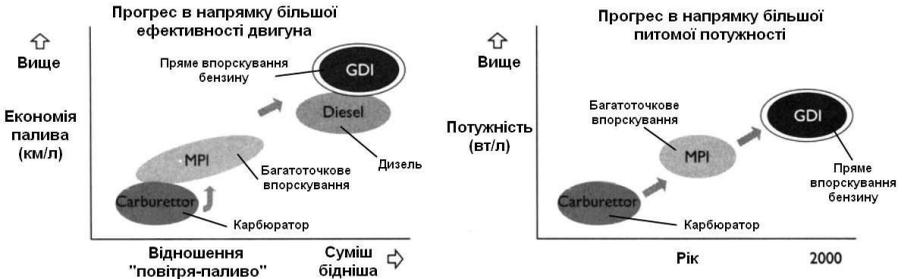


Рисунок 7.21 - Прогрес двигунів на шляху до більш високої потужності й ефективності

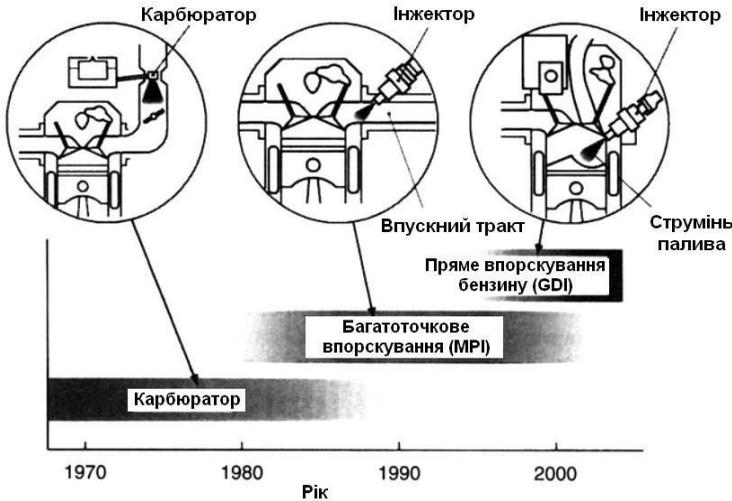


Рисунок 7.22 - Розвиток систем подачі палива

Технічні особливості двигуна GDI:

- строго вертикальні канали введення для оптимального керування потоком повітря в циліндрі;
- поршні із круглою вибіркою у верхній частині для кращого згорання палива;



Рисунок 7.23 - Двигун GDI від Mitsubishi

- паливний насос високого тиску для подачі палива в інжектори під тиском;
- вихрові інжектори високого тиску для створення оптимальної повітряно-паливної суміші.

Знижена витрата палива й підвищена потужність.

Використовуючи власні унікальні методи й технології, Mitsubishi змогла добитися того, що двигун GDI забезпечує й меншу витрату палива, і більш високу вихідну потужність. Цей зовні суперечливий і важкий трюк реалізовано шляхом застосуванням двох режимів згоряння. Крім того, момент впорскування міняється, щоб відповідати навантаженню двигуна.

Для умов навантаження автомобіля при типовому міському русі, паливо впорскується в кінці такту стиску, аналогічно дизельному двигуну. Завдяки цьому досягається ультрабідне згоряння за рахунок ідеального формування розшарованої повітряно-паливної суміші. В ідеальних умовах руху паливо вводиться на такті впуску. Це гарантує гомогенну повітряно-паливну суміш, подібну суміші звичайних двигунів MPI, що забезпечує більш високу вихідну потужність.

Режим ультрабідного згоряння.

При нормальних умовах руху, до швидкості 120 км/год, двигун GDI Mitsubishi працює в режимі ультрабідного згоряння, що призводить до найменшої витрати палива. У цьому режимі впорскування відбувається на останній стадії такту стиску, і в циліндрі згоряє ультрабідна суміш із відношенням «повітря-паливо» 30-40 (включаючи EGR 35-55).

Режим підвищеної вихідної потужності.

Коли двигун GDI працює з більш високим навантаженням або на більш високих оборотах, має місце впорскування палива під час такту впуску. Це оптимізує згоряння завдяки гомогенній і більш холодній повітряно-паливній суміші, яка мінімізує можливість детонації. .

Ці два режими роботи двигуна представлені на рис. 7.24.

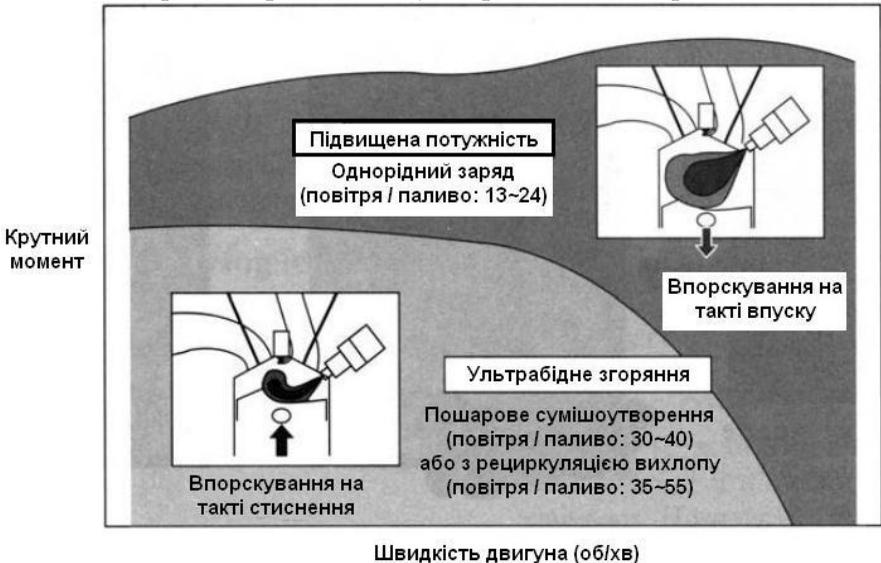


Рисунок 7.24 - Два режиму згоряння палива

Фундаментальні технології двигуна GDI.

В основі конструкції двигуна GDI є чотири технічні особливості. «Вертикальний прямий канал введення» поставляє оптимальний потік повітря в циліндр. «Поршень із криволінійною вершиною» управляє згорянням, допомагаючи формувати повітряно-паливну суміш. «Паливний насос високого тиску» забезпечує тиск, не обхідний для прямого впорскування в циліндр. Крім того, «вихровий інжектор високого тиску» управляє випаром і дисперсією паливного струменя.

Ці фундаментальні технології, об'єднані з іншими унікальними технологіями керування подачею палива, дозволили компанії Mitsubishi досягти обидві цілі: зробити витрати палива у двигуна GDI нижчими, ніж у дизельних двигунів, а вихідну потужність вищою, ніж потужність звичайних двигунів MPI.

Струмінь повітря усередині циліндра.

Двигун GDI має вертикальні прямі канали впуску суміші, а не горизонтальні, використовувані у звичайних двигунах. Вертикальні прямі канали ефективно направляють потік, повітря вниз на поршень із криволінійною поверхнею верхньої частини, яка сильно змінює напрямок струменя, утворюючи зворотний вихор для оптимального перемішування впорскнутого палива як показано на рис. 7.25.



Рисунок 7.25 - Канали вертикального впуску

Струмінь палива.

Розроблені вихрові інжектори високого тиску забезпечують ідеальний струмінь зі структурою, що відповідає кожному з режимів екс-

плататції двигуна. Це показано на рис. 7.26.

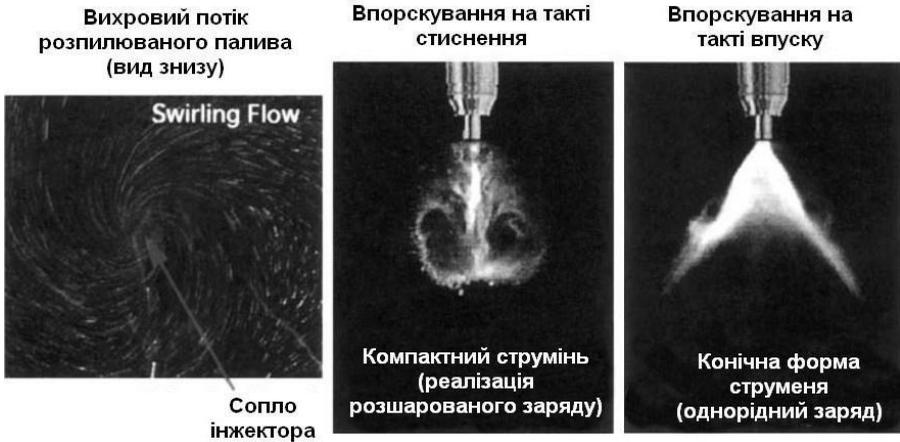


Рисунок 7.26 - Вихрові потоки

У той самий час, завдяки сильно турбулентному руху паливного струменя, інжектори забезпечують достатній ступінь розпилення палива, що є обов'язковим для двигуна типу GDI навіть із відносно низьким паливним тиском 50 кг/см^3 .

Оптимізована конфігурація камери згоряння.



Рисунок 7.27 - Оптиміальна форма вершини поршня

Поршень із криволінійним вилученням на вершині управляє формою повітряно-паливної суміші, так само як і струмінь повітря в камері згоряння, що відіграє важливу роль в утворі компактної повітряно-паливної суміші. Суміш, яка вводиться на останній стадії такту стиску, направляєється до свічі запалення перш, ніж вона зможе розсіятися.

Щоб визначати оптимальну форму вершини поршня, таку, як зображено на рис. 7.27, компанія Mitsubishi використала передові методи спостереження процесів у циліндрі, включаючи лазерні методи.

Питання для самоперевірки

1. У чому саме полягає об'єднане керування запаленням і подачею палива двигуна внутрішнього згорання?
2. З якою метою змінюють довжину впускного тракту двигуна?
3. Як можна змінювати перекриття клапанів під час роботи двигуна?
4. За допомогою чого можна здійснити зворотний зв'язок у замкненому контурі керування?
5. Поясніть ефект повітряного екранування паливних інжекторів.
6. Для чого призначена бортова діагностика (on - board diagnostics - OBD)?
7. Як пов'язана кількість шкідливих викидів автомобіля із конструкцією двигуна внутрішнього згорання?
8. Що таке тривалість перекриття клапанів і як вона впливає на склад вихлопу?
9. Для чого роблять рециркуляцію вихлопного газу?
10. В чому полягає суть термічного допалювання палива?
11. З чого складається каталітичний нейтралізатор вихлопних газів?
12. Намалюйте принципову схему регулювання викидів двигуна по λ -показнику і поясніть принцип її роботи.
13. Як зменшують температуру усмоктуваного повітря у двигунах з турбонаддувом?
14. Які технічні рішення використовують щодо зменшення забивання сажових фільтрів?
15. В чому полягає суть системи комплексного керування автомобілем?
16. Які були головні цілі при розробці двигуна GDI (Mitsubishi)?
17. Назвіть основні технічні особливості двигуна GDI.
18. Для чого канали впуску суміші у двигуні GDI зроблені вертикальними?
19. З якою метою поршень у двигуні GDI зроблений із криволінійним вилученням на вершині?
20. Як відбувається згорання ультра-збідненої суміші у двигуні GDI?
21. За рахунок чого у двигуні GDI мінімізована можливість детонації?
22. Намалюйте блок-схема керування системою запалювання двигуна і поясніть принцип її роботи.
23. На основі яких даних розраховується необхідна кількість палива для впорскування в циліндр двигуна?