

ЛЕКЦІЯ № 10. СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПАЛИВА

План лекції. Процес згоряння палива в двигуні із запалюванням від іскри. Діапазон і швидкість горіння. Детонація. Передчасне займання. Конструкція камери згоряння. Концентрація суміші і якість роботи двигуна. Двигуни із запалюванням від стиснення. Конструкція камери згоряння дизельного двигуна. Постачання двигуна паливом і шкідливі викиди. Електронне керування карбюратором. Впорскування палива. Короткий огляд систем впорскування. Впорскування дизельного палива. Електронне керування дизельним впорскуванням. Технологія спалювання бідних сумішей (Mazda). Система Common rail.

Процес згоряння палива в двигунах із запалюванням від іскри та займанням від стиснення найкраще розглядати по черзі. Після багатьох років дослідження найбільш важливих практичних аспектів згорання ці процеси все ще викликають чимало запитань. Для отримання найновіших даних необхідно регулярно звертатися до відповідних джерел. Однак аналіз процесів згоряння палива необхідний для повного розуміння конструкцій і процесу функціонування електронних систем управління подачею палива в двигунах внутрішнього згорання.

Процес згоряння у двигунах з іскровим запаленням.

Спрощений опис процесу згоряння всередині циліндра двигуна із запалюванням від іскри виглядає наступним чином. Між електродами свічки запалювання проскакує інтенсивний електричний розряд, який має високу температуру, і який залишає за собою тонку нитку полум'я. Від цієї тонкої нитки, горіння поширюється по замкнутому об'єму суміші зі швидкістю, яка залежить головним чином від температури фронту полум'я, але також, хоч і в меншому ступені, від температури і щільності навколишньої суміші (рис. 5.1).

Таким чином утворюється згусток полум'я, який радіально поширюється від центру назовні до тих пір, поки весь об'єм суміші не займеться. У згустку містяться продукти згоряння з високою температурою, у той час як перед фронтом полум'я знаходиться стиснута і ще незгорівша суміш.

Якби вміст циліндра залишався у спокої, цей згусток би не руйнувався, але так як всередині циліндра зазвичай присутні газові вихри,

тонкий шар полум'я перетворюється в рваний фронт, що збільшує область його дії і дуже збільшує швидкість поширення.

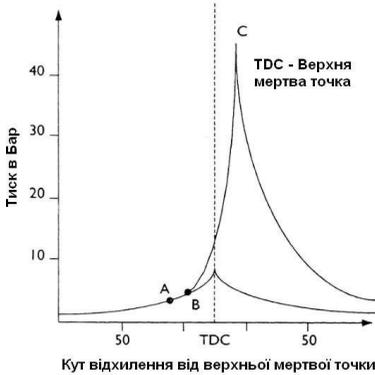


Рисунок 5.1 - Швидкість горіння палива

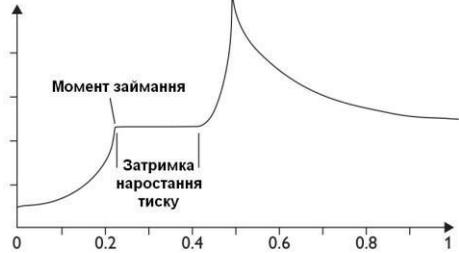


Рисунок 5.2 - Залежність тиску від температури при горінні палива, стисненого до температури самозаймання в постійному об'ємі

Швидкість процесу залежить від ступеня турбулентності, і водночас турбулентність мало впливає на напрям поширення, за винятком того, що утворення вихору накладає на весь процес певний відбиток. Горіння можна розбити на дві стадії:

1. Виникнення стійкого полум'я.
2. Поширення полум'я на весь об'єм камери згоряння.

Перший процес описується хімічними законами і залежить від природи палива, температури і тиску в даний момент, а також швидкості, з якою паливо буде окислюватися, або горіти. Як видно на рис. 5.1, це інтервал від моменту появи іскри А до моменту часу, коли буде помічено збільшення тиску від горіння суміші В.

Можна чітко продемонструвати цей період затримки займання. Якщо паливо спалюється в постійному об'ємі, будучи стиснутим до температури самозаймання, залежність тиску від часу виглядає так, як показано на рис. 5.2. Цей часовий інтервал характерний для всіх видів палива, але він може бути зменшений завдяки збільшенню температури суміші, при якій відбувається стиснення. Подібний результат можна продемонструвати в лабораторії при дослідженні ефекту впливу концентрації суміші на затримку займання.

Повертаючись до рис. 5.1, що показує хід процесу згорання, ми бачимо, як тиск дуже швидко підвищується всередині циліндра двигуна від В до С, наближаючись до процесу «постійного об'єму» чотиритактного циклу. У той час як точка С являє піковий тиск в циліндрі і завершення поширення полум'я, через розшарування вивільнене ще не все доступне тепло, що можна розглядати як догорання палива, яке триває протягом такту розширення.

Діапазон і швидкість горіння можна виразити графічно. На рис. 5.3 показана приблизна залежність між температурою полум'я і часом його поширення від моменту виникнення іскри для вуглеводневого палива. На рис. 5.4 показано співвідношення між температурою полум'я і концентрації суміші. На рис. 5.5 показано співвідношення між концентрацією суміші і швидкістю горіння.

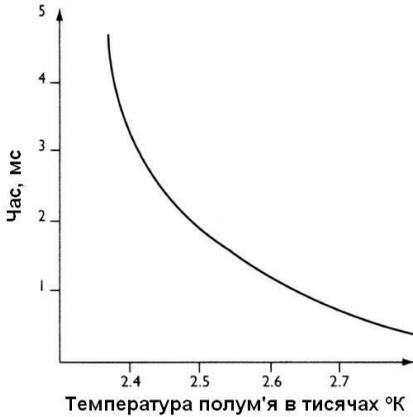


Рисунок 5.3 - Приблизна залежність між температурою полум'я і часом його поширення від моменту виникнення іскри для вуглеводневого палива

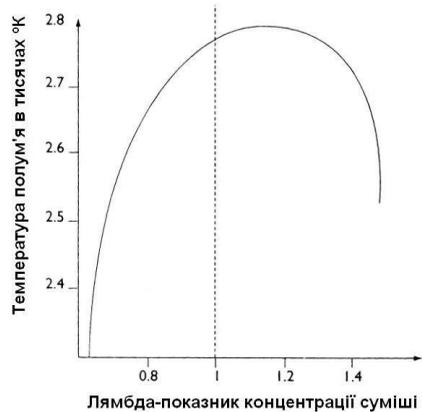


Рисунок 5.4 - Залежність між температурою полум'я і концентрацією суміші

Ці графіки показують, що мінімальний час затримки (від А до В) приблизно дорівнює 0,2 мс для злегка збагаченої суміші. В той час як друга стадія (від В до С), взагалі кажучи, залежить від ступеня турбулентності суміші (і від швидкості обертання двигуна); по мірі збільшення швидкості обертання потрібне збільшення випередження моменту займання. На рис. 5.6 показаний вплив неправильного вибору

часу займання. При ранньому запалюванні спалах починається ще на фазі стиснення, що призводить до підвищення максимального тиску в циліндрі і зазвичай супроводжується зниженням температури вихлопу. При цьому збільшується швидкість горіння суміші, і процес в цілому має тенденцію до вибуху.

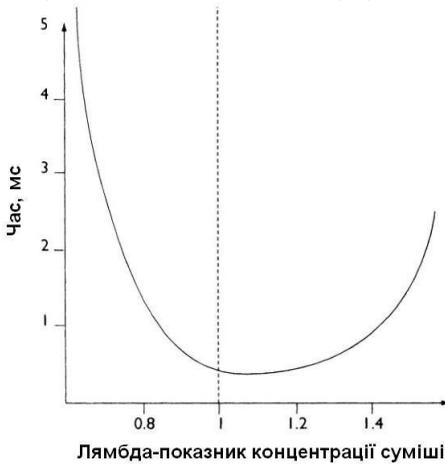


Рисунок 5.5 - Залежність між концентрацією суміші та швидкістю горіння

Детонація.

Явище детонації - це обмежуючий фактор для вихідної потужності та ефективності двигуна з іскровим запалюванням. Механізм детонації - наростання всередині циліндра двигуна хвилі тиску, що рухається з такою швидкістю, що її удар об стінки циліндра і поршня примушує стінки циліндра вібрувати і таким чином видавати характерний «дзвін».

Коли іскра запалює горючу суміш з палива та повітря, ядро полум'я зростає спочатку повільно, а потім швидко прискорюється.

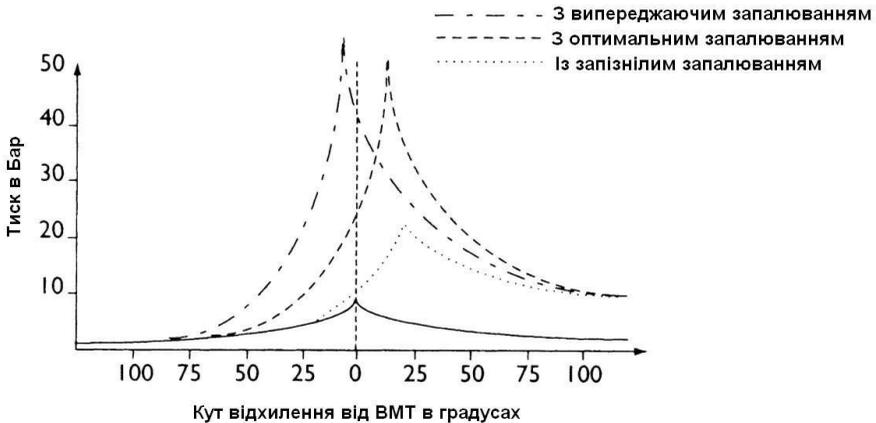


Рисунок 5.6 - Вплив вибору моменту займання на процес горіння палива

У міру того як фронт полум'я просувається, він стискає перед собою ще не запалену суміш. Температура ще не запаленої суміші піднімається за рахунок стиснення і теплового випромінювання від полум'я що просувається, поки залишкова частина суміші не запалиться спонтанним вибухом. Хвиля тиску від цього вибуху проходить через палаючу суміш з дуже високою швидкістю, і стінки циліндра видають дзвінкий звук удару.

Детонація не представляє небезпеки при малих швидкостях руху, так як водії зазвичай уникають цього, знижуючи навантаження на двигун при першому ж попередженні. Але на більш високих швидкостях, коли рівень шуму руху високий, характерний звук детонації часто майже неможливо виявити. Детонація - надзвичайно небезпечне явище, яке здатне повністю зруйнувати двигун.

Висока температура стиснення і тиск сприяють детонації. Крім того, важлива здатність незгорівшої суміші поглинати або передавати тепло, що випромінюється пересувним фронтом полум'я. На цю здатність впливають прихована ентальпія (тепломісткість) суміші і конструкція камери згоряння. Остання повинна бути влаштована відповідним чином для адекватного охолодження незгорівшої частини суміші, наприклад, розміщенням її поблизу добре охолоджуваної області на кшталт клапану вхідного отвору.

Шлях фронту полум'я повинен бути максимально скорочений ретельним вибором розташування точки займання. Інші фактори включають час (і, отже, момент запалювання), так як реакція в суміші що незгоріла вимагає часу для свого розвитку, ступінь турбулентності (взагалі кажучи, більш високий ступінь турбулентності має тенденцію знижувати детонацію за рахунок зриву фронту полум'я) і, що най-більш важливо, схильність самого палива до детонації.

Деякі види палива в цьому відношенні поведуться трохи краще за інші. Щоб поліпшити якість палива, його можна обробити добавка-ми (наприклад, тетраетилсвинцем). Однак це посилює і без того важку проблему викидів. Паливо з хорошими антидетонаційними властивостями - це ізооктан, а найбільш схильний до детонації звичайний гептан. Щоб отримати октанове число або оцінку антидетонаційних властивостей конкретної суміші палива, тест виконують на двигуні, який працює при ретельно контрольованих умовах, і початок детонації порівнюють з тими значеннями, які отримані від різних сумішей ізооктану і звичайного гептану. Якщо робота двигуна ідентична, напри-

клад, роботи на суміші 90 % ізооктану і 10 % гептану, паливо має октанове число 90. Підмішування до палива води (або метанолу і води) може зменшити детонацію. Спиртовмісне паливо, яке дозволяє воді утримуватися в розчині, є корисним ще й тому, що завдяки прихованій ентальпії води дає можливість домогтися кращого використання палива.

Передчасне займання не так очевидно шкідливе, як детонація, але результати його набагато більш серйозні. Не існує такої характеристики, як «стукіт», і якщо він чутний взагалі, то виявляється як глухий удар. Так як це явище не можна відразу ж помітити, його дія часто завдає серйозної шкоди двигуну, так як може бути втрачено управління часом займання. Передчасне запалювання від іскри може статися без видимого ефекту. Більш серйозно самозаймання суміші, яке може статися до іскри. Небезпека передчасного займання криється не стільки в ранньому наростанні тиску, скільки у дуже потужному збільшенні теплового потоку до стінок циліндра і поршня. Максимальний тиск помітно не збільшується, хоча і може настати трохи раніше.

У двигуні з одним циліндром процес не є небезпечним, так як зниження потужності просто змусить двигун зупинитися. У багатоциліндровому двигуні залишаються циліндри (якщо спочатку порушена робота тільки одного з них) продовжать роботу на повній потужності і кількості обертів, підтягуючи циліндр з передчасним займанням за собою. Інтенсивний тепловий потік в дефектному циліндрі може привести до заклинювання поршня, що супроводжується його руйнуванням з катастрофічними результатами для всього двигуна.

Передчасне займання часто ініціюється якоїсь гарячою точкою, можливо, розпиляною частинкою сажі або погано охолодженою ділянкою об'єму згоряння. У деяких випадках, якщо використовується неправильна свічка запалювання, за передчасне запалювання відповідають перегріті електроди, але частіше головною причиною є детонація.

Вибухова хвиля детонації відшукує залишки газів в поверхневій плівці на стінках циліндра, так що в підсумку головне джерело опору тепловому потоку видаляється і відбувається велике виділення тепла.

Тут же виявляються будь-які слабкі місця в системі охолодження, і в результаті формуються гарячі точки, які швидко дають початок передчасного займання.

Конструкція камери згоряння.

Щоб уникнути настання детонації і передчасного займання,

конструкторам доводиться ретельно продумувати розташування клапанів і свічок запалювання. Малі двигуни жорстко прив'язані до тарілчастого клапану. Це разом з обмеженнями по простору і наявністю високих ступенів стиснення дарує конструктору цікаві проблеми.

Камера згоряння повинна бути розроблена з урахуванням наступних факторів:

- ступінь стиснення повинна бути 9:1 для звичайного двигуна, 11:1 або 12:1 для двигуна більш високої якості;
- свічка (свічки) повинні бути розміщені так, щоб мінімізувати довжину шляху полум'я. Вони не повинні бути у «кишенях» або якомось іншому закритті, так як це зменшує ефективне охолодження, а також збільшує тенденцію до циклічних змін параметрів роботи циліндра.

Експерименти свідчать про значну зміну тиску протягом наступних тактів розширення. Ці зміни залежать від якості суміші в процесі роботи двигуна. Зниження навантаження і низькі ступені стиснення також погіршують умови протікання процесу. У той час як величина і положення точки максимального тиску змінюється, середній ефективний тиск і потужність двигуна залишаються незмінними.

Розшарування заряду по об'єму циліндра.

Дуже бідну суміш важко запалити, але вона має великий потенціал з точки зору зменшення шкідливих викидів та економії палива. Існує технічний метод, що дозволяє обійти проблему займання бідних сумішей - це розшарування заряду.

Доведено, що якщо концентрація суміші збільшена близько свічки і знижена в основній частині камери згоряння, в результаті середня концентрація суміші зменшиться, але збільшиться теплова ефективність. Цей спосіб розшарування практично нездійснений в звичайній карбюраторній системі. Вирішення цієї проблеми - це пряме впорскування палива, або інжекція суміші, яка може дозволити бензиновому двигуну працювати на сумішах з відношеннями повітря-паливо близько 150:1. У цій області найбільш відома технологія прямої інжекції бензину (gasoline direct injection - GDI) від Mitsubishi.

Концентрація суміші і якість роботи двигуна.

Ефект зміни концентрації суміші при збереженні постійними положення дросельної заслінки, швидкості обертання двигуна і моменту займання, показаний на рис. 5.7.

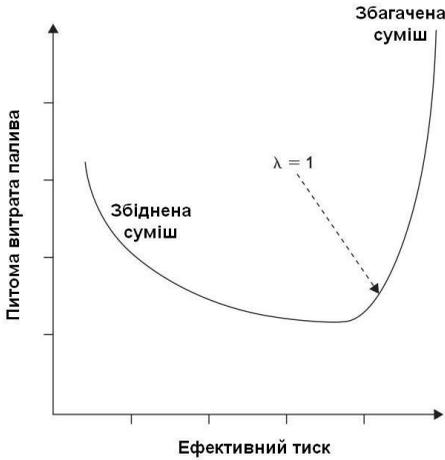


Рисунок 5.7- Зміна концентрації суміші при збереженні постійними положення дросельної заслінки, швидкості обертання й моменту запалювання

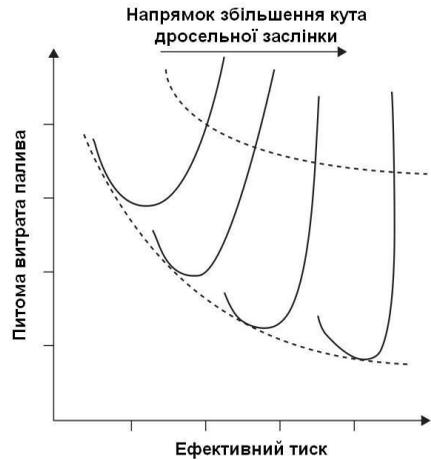


Рисунок 5.8 - Вплив на витрату палива ступеня відкриття дроселя при різних концентраціях суміші

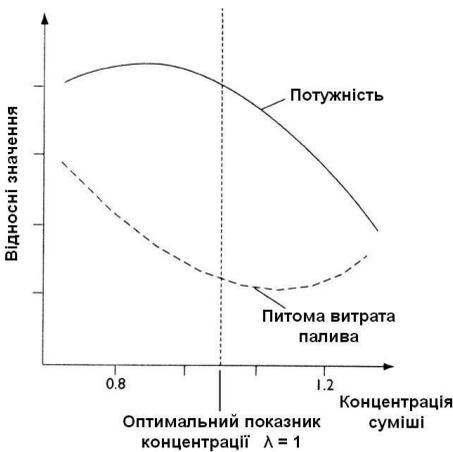


Рисунок 5.9 - Зміна вихідної потужності і споживання палива при зміні якості суміші

На рис. 5.8 показаний вплив дроселя на витрату палива із одночасною зміною концентрації суміші. Хімічно правильний склад суміші (приблизно 14,7:1) лежить між відношенням, яке забезпечує максимальну потужність (12:1), і відношенням, що створює умови мінімального споживання палива (16:1). Стехіометричне відношення 14,7:1 відоме як значення лямбда-показника, дорівнює 1. На рис. 5.9 показано зміну вихідної потужності і споживання палива в залежності від зміни якості паливно-повітряної суміші.

Двигуни із запалюванням від стиснення.

Процес згоряння у двигуни із запалюванням від стиснення відрі-

зняється від процесу у двигуні з іскровим запаленням. У даному випадку паливо вводиться в рідкому стані до сильно стиснутого в циліндрі двигуна порції повітря, яке має високу температуру. Кожна найдрібніша крапелька палива, як тільки вона входить в сильно нагріте повітря, швидко оточується покривалом з її власного пара. Ця пара навколо поверхні крапельки через певний час запалюється. Поперечний переріз будь-якої крапельки в той момент показав би центральне ядро рідини оточене тонкою плівкою пари, з зовнішнім шаром полум'я на ній. Ця послідовність випаровування і горіння зберігається, поки триває процес згоряння палива.

Процес згоряння (окислення) вуглеводневого палива сам по собі є тривалим процесом, але він може бути прискорений штучно. Окислення палива відбуватиметься у повітрі і при нормальних атмосферних температурах, але воно помітно прискориться, якщо підняти температуру. Окислення зажадає років при 20°C , кілька днів при 200°C і лише кілька хвилин при 250°C .

У цих випадках швидкість зростання температури через окислення менше швидкості, з якою тепло втрачається через конвекцію і теплове випромінювання. В кінцевому рахунку, в міру збільшення температури досягається критична стадія процесу, коли кількість тепла, створюваного окисленням, стає більшою, ніж розсіюється.

Далі температура продовжує підвищуватися автоматично. Це у свою чергу, прискорює процес окислення з вивільненням тепла. Тепер події відбуваються дуже швидко, з'являється стійке полум'я, і паливо швидко запалюється. Температуру, при якій настає критична зміна, зазвичай називають температурою самозаймання палива. Вона залежить від багатьох чинників, таких як тиск, час і характеристики передачі тепла від початкової точки окислення далі в камеру згоряння.

Тепер розглянемо упорскування палива у вигляді краплі в гарячу камеру згоряння. При температурі набагато вище точки займання сама крайня частина зовнішньої поверхні краплі негайно починає випаровуватися, оточуючи ядро тонкої плівкою пари. Це призводить до передачі тепла від повітря, що оточує крапельку, на приховану теплоту випаровування. Цей процес супроводжується відбором тепла від всієї маси гарячого повітря.

Займання парової оболонки може статися навіть тоді, коли ядро крапельки все ще рідке і відносно холодне. Як тільки полум'я встановиться, процес згоряння піде при більш високій швидкості. Виникає

період затримки з моменту, як починається впорскування, і до моменту, коли настане займання. Цей період затримки залежить від:

- перевищення температурою повітря температури самозаймання палива;
- тиску повітря (що пов'язано з кількістю кисню і поліпшенням теплопередачі між гарячим повітрям та холодним паливом).

Після періоду затримки швидкість подальшого горіння залежить від тієї швидкості, з якою нові порції кисню надходять до кожної палаючої крапельки. Відносна швидкість крапельки до найближчого повітря має, таким чином, істотне значення. У двигуні з запалюванням від стиснення паливо вводиться на інтервалі не більше ніж за 40-50° кута поворота колінвала від ВМТ. Це означає, що паливо, введене першим, поглинає частину кисню і, можливо, створює дефіцит кисню для останніх порцій палива.

Потрібна певна ступінь турбулентності повітря, щоб згорілі гази були видалені із зони інжектора, і в контакт з паливом увійшло свіже повітря. Ясно, що турбулентність має бути створена належним чином, а не бути хаотичною, як у двигуні із запалюванням від іскри, де вона необхідна тільки для того, щоб розбити фронт полум'я.

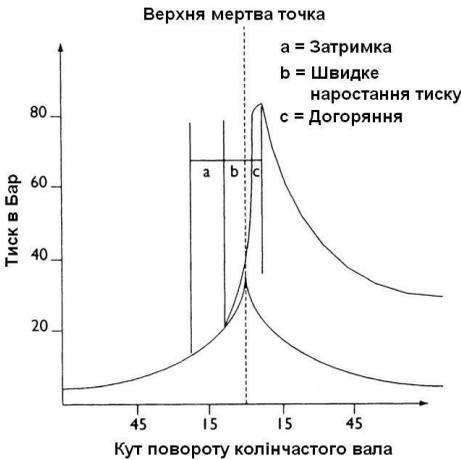


Рисунок 5.10 - Фази згоряння палива в дизельному двигуні

У двигуні з запалюванням від стиску згоряння може бути представлено в трьох різних фазах, показаних на рис. 5.10: період затримки; швидке підвищення тиску; догорання палива, тобто паливо продовжує горіти, віддаляючись від інжектора.

Чим довша затримка, тим більш значним і швидшим буде підвищення тиску, так як в циліндрі буде присутне більше палива до того моменту, як швидкість горіння потрапить у пряму залежність від швидкості упорскування.

Мета регулювання процесу горіння полягає в тому, щоб максимально зменшити затримку для більш спокійного горіння, усунення

детонації, а також щоб підтримувати контроль над зміною тиску. Є, однак, нижня межа затримки, оскільки без затримки усі крапельки згорали б, як тільки вони вилетіли з сопла. Це зробило б майже неможливим забезпечення достатнього припливу повітря в межах концентрованого струменя крапель. Тому період затримки необхідний для належного розподілу палива. Період затримки залежить, відповідно, від:

- тиску і температури повітря;
- октанового числа палива;
- мінливості складу й прихованої теплоти (ентальпії) палива;
- розміру крапель;
- керованої турбулентності.

Розмір крапельки важливий, оскільки швидкість горіння крапель залежить, перш за все, від швидкості, з якою кисень стає доступним для контакту з палаючою краплею. Це важливо для крапельки, що долає деяку відстань від сопла, навколо якого пізніше сконцентрується вогнище горіння. Звідси розмір крапельок повинен бути досить великим, щоб отримати необхідний імпульс в процесі інжекції. З іншого боку, чим менше крапелька, тим більша відносна площа поверхні реакції і коротше період затримки. Ясно, що необхідний компроміс лежить між цими двома факторами.

При високих ступенях стиснення (15:1 і вище) температура і тиск піднімаються настільки, що затримка зменшується, що є перевагою. Однак більш високі ступені стиснення створюють проблеми для механіки, а також для проектування камер, згорання, особливо в маленьких двигунах, де проліт крапель займає більшу частину допустимого простору камери згорання.

Конструкція камери згорання дизельного двигуна.

Камера згорання двигуна повинна:

- створити необхідний ступінь стиснення;
- забезпечити необхідну турбулентність;
- правильно розмістити і оптимально скоординувати дію клапанів і інжектору.

Ці вимоги взаємозалежні. Турбулентність зазвичай виходить за рахунок факторів об'єму. Конструктивно складні втоплені впускні клапани або спрямовані дотично повітряні канали створюють перешкоди повітряному струменю і тому мало придатні для застосування на високооборотних двигунах.

Щоб допомогти у вентиляції камери, можуть використовуватися

чотири або навіть шість клапанів на циліндр. Переваги такої конструкції полягають в збереженні центрального положення інжектора - бажаної мети для двигунів прямого вприскування. Навпаки, збільшення розмірів клапана і пов'язаний з цим його високий підйом, крім механічних проблем, зазвичай вимагають спеціальних пазів на поршні для створення повітряних потоків.

Напівсферична камера згоряння допомагає збільшити область доступу для клапанів, за рахунок використання Бокового інжектора. Камери попереднього згоряння, будь то повітряний елемент або камера «вихрового згоряння», мають загальний недолік. Температурні навантаження в цій зоні надзвичайно високі, і камери схильні до відмови через порушення властивостей металу - принаймні, знаходяться в стані ризику з того моменту, як вони зобов'язані створювати «гарячу точку», щоб допомогти згорянню. Не існує ніякого унікального рішення, і створена в результаті камера згоряння - це завжди компроміс.

Постачання двигуна паливом і шкідливі викиди. Режими експлуатації.

Ідеальне відношення «повітря/паливо» приблизно дорівнює 14,7:1. Це теоретична кількість повітря, необхідна для повного згоряння палива. Вона визначає лямбда-показник (λ) зі значенням 1, тобто $\lambda = (\text{фактична кількість повітря}) / (\text{теоретична кількість повітря})$.

Повітряно-паливне відношення при різних експлуатаційних режимах двигуна змінюється, щоб поліпшити якість його роботи, ходові властивості автомобіля, споживання палива і склад відпрацьованих газів. Перелічимо основні режими роботи двигуна з точки зору використовуваної суміші:

- холодний старт - збагачена суміш необхідна для компенсації конденсації палива та поліпшення ходових якостей автомобіля в цьому режимі;
- навантаження або прискорення - збагачена суміш покращує роботу двигуна;
- рівномірна їзда або легкі навантаження - збіднена суміш дозволяє економити паливо;
- позамежний режим - дуже бідна суміш (наскільки можливо) використовується, щоб поліпшити склад вихлопних газів і підвищити економічність двигуна.

Чим точніше управління якістю повітряно-паливної суміші, тим краща в цілому робота двигуна.

Вихлопні гази. На рис. 5.11 показані теоретичні та фактичні результати аналізу продуктів згоряння палива.

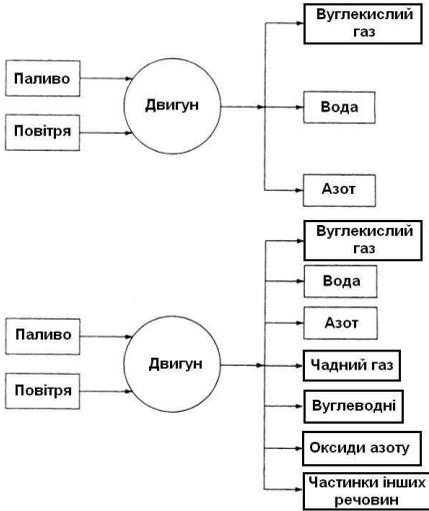


Рисунок 5.11 - Теоретичні результати горіння вуглеводневого палива і фактичні результати аналізу продуктів згоряння

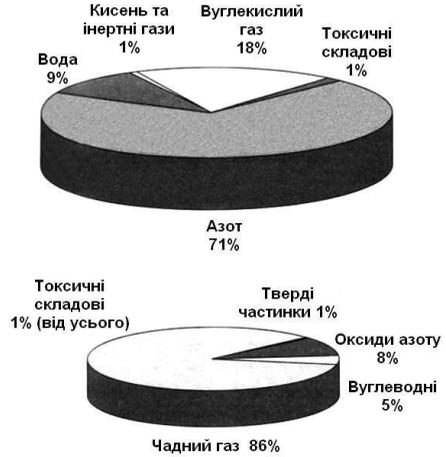


Рисунок 5.12 - Складові вихлопу двигуна внутрішнього згоряння

Верхня частина рисунка - це ідеальна картина, нижня частина - реальний результат при нормальних умовах. Відзначимо, що цей результат отримано при подальшій обробці вихлопу, наприклад, каталітичним конвертером.

На рис. 5.12. показано процентне співвідношення різних складових вихлопних газів. Обсяг забруднювачів є малим, але з огляду на те, що вони виключно отруйні, їх присутність вкрай небажана. Сьогодні існують суворі законодавчі заходи, спрямовані на заохочення скорочення викидів. Фактичні значення обсягів викидів змінюються в залежності від конструкції двигуна, режимів експлуатації, температури, рівномірності руху і деяких інших чинників.

Інші джерела забруднень.

Головне джерело шкідливих викидів транспортного засобу - вихлоп двигуна, але необхідно досліджувати і інші області, що стосуються транспортних засобів.

Оскільки в паливі присутня сірка, областю протистояння між автовиробниками і нафтовими компаніями є питання про те, хто повинен нести витрати з уловлювання паливних випарів на бензозаправних станціях. Проблема емісії паливних випарів (evaporated fuel emissions - EFEs) стала головною метою для захисників навколишнього середовища. Оскільки приблизно 10 % палива випаровується в атмосферу тільки в процесі заправки автомобіля паливом.

У США нафтові компанії виграли битву. А тому всі автомобілі, виготовлені з початку 1998 року, повинні бути обладнані 10-літровими каністрами, заповненими деревним вугіллям, щоб вловлювати і поглинати пари палива. Результат суперечки в Європі досі не визначений, тут йдуть серйозні дебати щодо того, чи повинен збір випарів на заправках бути сферою відповідальності нафтових компаній.

Все ще залишається відкритим питання запобігання випарів безпосередньо з паливного трубопроводу - ще одна ключова проблема для виробника транспортного засобу. Технологічні досягнення в конструкції фактично збільшують паливні випаровування зсередини системи забезпечення паливом. Це відбувається через зростаюче використання пластмас для виготовлення паливопроводів замість металу. Оскільки пластмаси дозволяють бензиновій парі потрапляти в атмосферу. Близькість до паливного баку каталітичних нейтралізаторів, які виробляють величезну кількість тепла, призводить до того що паливо сильно нагрівається і тому більш схильне випаровуватися.

Величина випарів вимірюється в «шедах». Шед («shed» - Sealed Housing for Evaporative Determination - SHED) - це герметичний бокс для визначення випарів палива автомобіля, він використовується двома способами.

1-й спосіб. Транспорт засіб заправлений на 40 % максимального об'єму палива поміщають в камеру і нагрівають (приблизно в діапазоні 14-28 °C), далі вимірюється збільшення концентрації вуглеводнів у повітрі камери.

2-й спосіб. Транспортний засіб спочатку нагрівається впродовж нормального випробувального циклу, а вже потім розміщується в камері. Збільшення концентрації вуглеводнів вимірюється щогодини.

Етиловане і неетиловане паливо.

Тетраетилсвінець вперше почали додавати в бензин в 1920-х роках з метою сповільнити швидкість горіння, поліпшити процес згоряння і збільшити октанове число палива. Це обходилося дешевше,

ніж подальше очищення палива бензиновими компаніями.

Перший реальний крок до використання неетилованого палива був зроблений в Лос-Анджелесі в Каліфорнії. Щоб зменшити серйозну для цього міста проблему смогу, вирішено було використовувати каталітичні конвертери. Однак якщо використовувалося етиловане паливо каталізатор виводився з ладу. Подальше дослідження показало, що свинець також викликає пошкодження головного мозку у дітей, це сповістило кінець ери етилованого палива.

Також згодом був визначений ступінь негативного впливу на навколишнє середовище добавок, що використовуються замість свинцю. Два головних злочинця це бензол, який нерозривно пов'язаний з лейкемією, і антиокислювальна присадка МТВВ (Methyl tertiary butyl), що отрує воду і отруйний майже для всіх живих істот. Ці добавки потенційно набагато страшніші проблеми, ніж свинець, який як згодом виявилось, не такий вже й страшний, як думали на початку.

Важливо, однак, відзначити, що всі ці питання добавок до палива знаходяться ще в стадії обговорення, і для повністю аргументованого висновку необхідні подальші дослідження. Але втім слід зазначити що будь-яка технологічна проблема виявляється набагато більш складною, ніж та причина, через яку вона досліджується в перший раз.

Сучасні двигуни тепер розробляються для роботи на неетилованому паливі, при цьому проводиться зміцнення посадкових місць (сідел) випускних клапанів. В Європі етиловане паливо нині повністю виведено з виробництва. Це стало проблемою для власників класичних, старих транспортних засобів. В принципі, відомо багато видів добавок, але вони не такі хороші як тетраетилсвинець:

- всі двигуни з чавунними голівками, що не мають спеціального посилення сідел випускних клапанів, схильні до ризику пошкодження при роботі на неетилованому паливі. Ступінь пошкодження залежить від конструкції і від обертів двигуна. Ніякі бензинові добавки не запобігають прогару сідла клапана повністю. Одні краще, інші гірше, але жодна з них не замінить дію свинцю;
- мінімальний критичний рівень свинцю в паливі - приблизно 0,07 г на літр. Справжній рівень в деяких видах етилованого палива становить 0,15 г на літр, і ймовірно, можна успішно змішувати етилований і неетилований бензин;
- неможливо точно передбачити швидкість зносу двигуна, не-

- рідко переважає знос тільки в одному циліндрі;
- установка підсилених клапанів або виконання закалка посадочних місць ефективно на всіх двигунах, де ці роботи можуть бути зроблені;
 - тести, проведені компанією Rover, виправдовують теорію, що хоча неетилований бензин і пошкоджує всі чавунні головки, менш допитливий водій не буде помічати ніяких проблем з двигуном, поки не подолає певну відстань, яку міг би подолати на етилованому паливі;
 - коли незахищені двигуни перевіряють на стенді при роботі з неетилваним паливом і потім повністю розбирають, пошкодження завжди будуть помітні. Однак водії рідко скаржаться на неприємність в роботі від неетилованого палива, можливо, тому, що вони ще не ремонтували свій двигун або не набрали відповідну величину пробігу.

Питання для самоперевірки

1. Від чого залежить швидкість процесу згоряння паливної суміші?
2. Поясніть, що позначається лямбдою (λ) зі значенням 1?
3. Обґрунтуйте п'ять переваг впорскування палива.
4. Опишіть вплив вибору часу запалення на процес згоряння палива.
5. Опишіть вплив якості суміші на процес згоряння.
6. Намалюйте блок-схему паливної системи впорскування, та опишіть коротко призначення кожного компонента.
7. Поясніть процес згоряння палива в дизельному двигуні.
8. Як здійснюється електронне керування процесом впорскування дизельного палива?
9. Обґрунтуйте переваги метода EUI.
10. Перелічіть всі головні компоненти електронної системи керування карбюратором і обґрунтуйте призначення кожного компонента.
11. Зробіть чіткий ескіз, що показує дію паливного інжектора.
12. Опишіть шість джерел шкідливих викидів транспортного засобу й коротко розкажіть, як виготовлювачі автомобілів борються з кожним з них.
13. Які вимоги висуваються до конструкції камери згоряння дизельного двигуна?
14. Перелічіть основні режими роботи двигуна з точки зору використаної суміші.

15. В чому полягає різниця між етилованим і неетилованим паливом?
16. Якими параметрами визначається початок впорскування палива у дизельному двигуні?
17. Які основні вимоги до подачі палива в системі з нагрітою ниткою?
18. Розкажіть принцип дії потенціометра.
19. Поясніть особливості технології спалювання бідних сумішей (Mazda).
20. Чим була зумовлена розробка систем впорскування палива із загальним паливопроводом для дизелів?
21. Які складові частини п'єзоінжектора і як він працює?
22. Розкажіть принцип дії дизельного фільтру мікрочасток вихлопу.
23. Яке призначення реагенту AdBlue?
24. Розкажіть загальний алгоритм діагностики помилок системи керування подачею палива.