

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

"Транспортні енергетичні установки"

для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
("Колісні та гусеничні транспортні засоби"),
усіх форм навчання

Частина 2 - змістовий модуль 1.

Двигуни внутрішнього згоряння: історія розвитку,
конструктивні особливості та принципи розрахунку

2019

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни "Транспортні енергетичні установки" для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби") усіх форм навчання. Частина 2 - змістовий модуль 1. Двигуни внутрішнього згоряння: історія розвитку, конструктивні особливості та принципи розрахунку / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 62 с.

Укладачі: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;
А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Рецензенти: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук;
С.М. Турпак, професор, д-р.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри "Автомобілі"
Протокол № 10
від « 10 » травня 2019.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 76
від « 17 » травня 2019.

ЗМІСТ

Частина 2

Вступ	66
Тематичний план лекційних занять	67
Лекція № 5. Чотиритактні ДВЗ	69
Лекція № 6. Особливості конструкцій сучасних автомобільних бензинових ДВЗ	78
Лекція № 7. Особливості конструкцій сучасних автомобільних дизельних ДВЗ	108
Рекомендована література	122
Основна	122
Додаткова	122
Інформаційні ресурси	124

ВСТУП

Метою курсу "Транспортні енергетичні установки" є вивчення робочих процесів енергетичних установок і особливостей їх конструкції.

Двигун внутрішнього згоряння - це основна енергетична установка сучасного транспорту (перед усім автомобільного), головною функцією якої є перетворення хімічної енергії палива в механічну роботу. Теорія енергетичної установки транспортної техніки вивчає робочі процеси, що відбуваються в енергетичній установці при перетворенні енергії палива в роботу за допомогою спеціальних пристроїв і механізмів, які складають конструкцію енергетичної установки. До енергетичної установки пред'являються вимоги по габаритах, масі та по надійності й довговічності.

Сучасна автомобільна транспортна техніка є складною машиною, створеною працею великої кількості інженерів з різних галузей науки й техніки багатьох країн.

Перші автомобілі з паровою силовою енергетичною установкою, що з'явилися в XVIII ст., були важкими й громіздкими. В 1860 р. французький інженер Етьєн Лєнуар винайшов перший двигун внутрішнього згоряння, що працював на світільному газі.

В 1870 р. Є. Ланген і Н. Отто (Німеччина) побудували чотири-тактні газові двигуни із примусовим запаленням суміші, а в 1897 г. німецький інженер Р. Дизель створив перший стаціонарний двигун із запаленням робочої суміші від стиску - дизель.

В 1883 г. з'явився автомобіль із двигуном внутрішнього згоряння, побудований К. Бенцем, в 1888 г. - перший мотоцикл Г. Даймлера.

Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) поступово став основним джерелом енергії на транспорті будь якого типу та призначення.

Матеріал, викладений у даному конспекті лекцій, надає студентам необхідну інформацію з кожного з розділів навчальної програми курсу "Транспортні енергетичні установки", і допоможе студентам досягти необхідного рівня знань, практичних навичок та умінь.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Загальний об'єм курсу становить 28 годин і складається з двох змістових модулів. Даний конспект лекцій дисципліни "Транспортні енергетичні установки" складається з двох частин, і розроблений відповідно до:

Робоча програма з дисципліни "Транспортні енергетичні установки" для студентів за напрямом підготовки 6.050503 – "Машинобудування", спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби), усіх форм навчання. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 18 с.

Нижче наведено назву першого змістового модуля дисципліни "Транспортні енергетичні установки", найменування тем лекційних занять в модулі і вказано кількість годин аудиторних занять, для студентів денної форми навчання, окремо для кожної лекції.

Для кожної теми лекції вказано перелік питань які треба розглянути під час даної лекції. Слід враховувати те, що в даному конспекті лекцій приведено лише стислий огляд питань кожної лекції. Крім того навчальним планом дисципліни передбачено активну самостійну роботу студентів за вказаними темами курсу.

Вкінці кожної лекції наведено перелік питань для самоперевірки. Для самостійної роботи студенту слід користуватися рекомендованою літературою для вивчення дисципліни, перелік якої наведено в кінці даного конспекту лекцій, а також використовувати розроблені методичні вказівки:

Методичні вказівки з вивчення дисципліни "Транспортні енергетичні установки" та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби"), усіх форм навчання. / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 62 с.

Змістовий модуль 1. Двигуни внутрішнього згоряння: історія розвитку, конструктивні особливості та принципи розрахунку

Тема 1. Вступ до курсу (2 год.)

Особливості двигунів внутрішнього згоряння. Коротка історія розвитку двигунобудування. Характеристика двигунів внутрішнього

згоряння як джерел енергії. Області застосування поршневих і комбінованих двигунів. Принципи конструювання й розрахунків сучасних двигунів.

Тема 2. Класифікація двигунів і компоновальні схеми розміщення двигунів на транспортних засобах (2 год.)

Абревіатури та скорочення систем двигунів світових виробників. Умовне позначення двигунів. Класифікація двигунів. Аналіз компоновальних схем розміщення двигунів на транспортних засобах.

Тема 3. Двигуни зовнішнього згоряння (2 год.)

Винахід і розвиток парових машин. Класифікація й типи парових двигунів. Переваги й недоліки парових машин. Двигун Стірлінга: історія появи, принцип роботи, термодинамічний цикл, переваги й недоліки, область застосування.

Тема 4. Двотактні ДВЗ (2 год.)

Робочі цикли, діаграми, термодинаміка, процеси згоряння.

Тема 5. Чотиритактні ДВЗ (2 год.)

Робочі цикли, діаграми, термодинаміка, процеси згоряння.

Тема 6. Особливості конструкцій сучасних автомобільних бензинових ДВЗ (2 год.)

Сумішоутворення. Запалення робочої суміші. Елементи конструкції двигуна. Системи впорскування бензину.

Тема 7. Особливості конструкцій сучасних автомобільних дизельних ДВЗ (2 год.)

Сумішоутворення. Запалення робочої суміші. Елементи конструкції двигуна. Система Common Rail.

ЛЕКЦІЯ № 5. ЧОТИРИТАКТНІ ДВЗ

План лекції. Робочі цикли, діаграми, термодинаміка, процеси згоряння.

Література: [1], с. 17-21; [2], с. 45-58; [5], с. 16-18;
[6], с. 51-52; [7], с. 9-14; [34], с. 21-28.

У поршневих двигунах внутрішнього згоряння, що працюють по чотиритактному циклу, усі процеси здійснюються за чотири ходи поршня або за два оберти колінчатого вала. Їх будують як із зовнішнім, так і із внутрішнім сумішоутворенням. Залежно від цього, запалення робочої суміші здійснюється в них або від електричної іскри або від тепла, що накопичується в циліндрі при стиску робочого тіла. Із примусовим електричним запалюванням працюють в основному бензинові й газові двигуни, а із запаленням від стиску - дизелі.

У двигунах із примусовим запалюванням (бензинових та інших) величина ступеня стиску вибирається так, щоб при даному виді палива в циліндрах не виникало довільне запалення (самозапалювання) робочої суміші. У дизелях, навпаки, робоче тіло стискають із розрахунку, щоб до моменту подачі палива температура в циліндрі була вище температури самозапалювання палива.

Таким чином, при використанні того самого робочого циклу умови протікання окремих процесів у циліндрах чотиритактних двигунів різко різняться залежно від прийнятого способу сумішоутворення. У цьому можна переконатися, наприклад, по величинах тисків, що виникають у циліндрі, які прийнято зображувати у вигляді діаграм. Такі діаграми, одержувані за допомогою спеціального приладу - індикатору, називаються індикаторними.

Індикаторні діаграми (рис. 5.1) будують у координатах pV (залежність тиску в циліндрі від об'єму його надпоршневої порожнини).

Щоб підвищити наочність у розглянутому випадку, для бензинового двигуна й дизеля, прийняті однакові розміри (зокрема, хід поршня S), а самі діаграми побудовані в однаковому масштабі.

Значення середніх величин тисків і відповідних температур у вузлових точках обох діаграм А - бензинового двигуна й Б - дизеля зведені в загальну таблицю (рис. 5.1); тут же наведена так звана кругова діаграма фаз газорозподілу.

Ця діаграма характеризує тривалість відкриття клапанів, виражену в градусах повороту колінчатого вала й момент їх відкриття й закриття щодо мертвих точок. Кругова діаграма, як і діаграми тисків у циліндрі, полегшують вивчення особливостей протікання робочого циклу в різних двигунах.

І такт - такт впуску в чотиритактних двигунах починається з руху поршня від верхньої мертвої точки до нижньої мертвої точки. Хід впуску здійснюється поршнем за рахунок повороту колінчатого вала двигуна на кут від 0 до 180° (рис. 5.1, А - положення І).

У працюючому двигуні до початку ходу впуску об'єм камери стиску V_c заповнений залишковими газами, що перебувають під тиском приблизно $0,105\text{--}0,12 \text{ Мн/м}^2$ (точка г на діаграмах А и Б). У міру віддалення поршня від в.м.т. і збільшення об'єму надпоршневої порожнини, тиск у циліндрі зменшується, рівняється з атмосферним p_0 а потім стає нижче атмосферного.

Тому що перед початком руху поршня впускний клапан ІК за допомогою механізму газорозподілу є вже відкритий, то під дією перепаду тисків $p_0\text{--}p_a$ горюча суміш (у бензинових і газових двигунах) або чисте повітря (у дизелях) спрямовуються в циліндр і заповнюють його надпоршневую порожнину.

На діаграмах А и Б процес впуску зображений лінією г-а. Середній тиск на впуску p_a звичайно становить $0,07\text{--}0,095 \text{ Мн/м}^2$ і залежить від наступних факторів: опору трубопроводів і приладів системи впуску, величини прохідного отвору в клапана, числа обертів колінчатого вала, ступеня підігріву свіжого заряду, від інерційних і хвильових рухів газу в трубопроводах і т.п.

Оскільки в циліндрі дизеля надходить атмосферне повітря, то немає опору потоку повітря, а величина p_a виходить при цьому трохи більше, ніж у циліндрах бензинових двигунів.

Свіжий заряд що надходить у циліндр, стикається з нагрітими стінками впускного тракту й надпоршневої порожнини циліндра, а також змішується з гарячими залишковими газами, температура яких рівняється приблизно 1000° К (рис. 5.1, позиція г у табл.), внаслідок чого температура в циліндрі наприкінці ходу поршня (у точці а діаграм) становить $330\text{--}380^\circ \text{ К}$.

Наповнення циліндрів оцінюється коефіцієнтом наповнення, рівним відношенню ваги свіжого заряду, що фактично надійшов в циліндр, до його ваги при рівних тиску й температурі в циліндрі й у на-

вколишньому середовищі. Однак у силу гідравлічного опору впускного тракту, практично це не здійсненне, тому величина коефіцієнта наповнення завжди буває менше одиниці.

Для сучасних двигунів, що працюють у режимі номінальної потужності (на яку вони розраховуються), коефіцієнт наповнення для бензинових двигунів коливається в межах 0,75-0,85. У двигунах із внутрішнім сумішоутворенням коефіцієнт наповнення завжди буває вище, ніж у бензинових двигунах внаслідок меншого опору впускного тракту й досягає величини 0,9.

Тому що потужність двигуна залежить від вагового наповнення циліндрів, то для поліпшення наповнення ухвалюють ряд заходів. Наприклад, впускний клапан 1К відкривають із цією метою з випередженням на $5-20^\circ$ кута повороту колінчатого вала, тобто ще до початку ходу впуску, а закривають із запізнюванням на $40-70^\circ$ і більше, коли поршень мине н.м.т.

Колінчатий вал просуває поршень убік в.м.т., тобто здійснюється хід стиску (рис. 5.1, положення II). Отже, тривалість відкриття впускного клапана буває значно більше 180° , тобто більше кута повороту кривошипа вала, за який поршень робить хід впуску від в.м.т. до н.м.т. (рис. 5.1, положення I).

Деяке випередження відкриття впускного клапана дозволяє краще використовувати мінливий по величині прохідний перетин клапанного отвору, а необхідність у запізнюванні закриття цього клапана виявляється з індикаторних діаграм А і Б.

Дійсно, наприкінці ходу впуску в точці а тиск у циліндрі p_a буває нижче атмосферного тиску p_0 , тому циліндр може наповнюватися ще й після того, як поршень змінить напрямок свого руху, поки тиск у циліндрі не досягне рівня, відзначеного на розглянутих діаграмах точкою 1. Більше того, у швидкохідних автомобільних двигунах при відповідному швидкісному напорі стовпа горючої суміші або повітря, можлива дозарядка циліндра при тиску, що трохи перевищує тиск у точці 1.

Цей принцип широко використовується в сучасних двигунах, хоча на режимах роботи з малими обертами вала й, отже, невеликим швидкісним напором потоку на вході в циліндри в таких двигунах спостерігається так званий зворотний викид. Через велике запізнювання закриття впускного клапана частина свіжого заряду викидається із циліндра. Таким чином, на ділянці лінії стиску, що примикає до то-

чки 1 (діаграми А і Б), можлива як дозарядка циліндрів, так і зворотний викид частини свіжого заряду. Проте в автомобільних двигунах прагнуть повніше використовувати переваги дозарядки, оскільки це дозволяє без збільшення робочого об'єму циліндрів (літражу) збільшувати потужність двигуна на характерні для автомобіля більших швидкостях руху.

II такт - такт стиску здійснюється при русі поршня від н.м.т. до в.м.т. за рахунок повороту колінчатого вала на кут від 180° до 360° (рис. 5.1, положення II). У початковій стадії ходу стиску, як було показано вище, відбувається стискання робочого тіла й одночасне збільшення його вагового вмісту за рахунок триваючого вступу свіжого заряду, поки тиск у циліндрі двигуна, що працює без наддування, не зрівняється з тиском навколишнього середовища p_0 (точка 1 на діаграмах А і Б).

Далі у зв'язку з можливим подальшим запізнюванням закриття впускного клапана при даному швидкісному режимі роботи двигуна циліндри можуть дозаряджатися, або буде відбуватися зворотний викид. З моменту закриття впускного клапана (рис. 5.1) відбувається стиск робочого тіла в циліндрі доти, поки поршень не досягне в.м.т. Об'єм надпоршневої порожнини дорівнює при цьому об'єму V_c , тобто об'єму камери згоряння.

На діаграмах процес стиску зображений лінією а-с. Стан робочого тіла наприкінці стиску визначається ступенем стиску ϵ , початковим тиском p_a , якістю ущільнення циліндра тощо. У двигунах із примусовим запалюванням, що працюють без наддування, кінцевий тиск стиску p_c становить $1,2-1,7 \text{ Мн/м}^2$, а в дизелях - $3-4 \text{ Мн/м}^2$ і відповідно температура T_c досягає $600-700^\circ\text{K}$ і $800-900^\circ\text{K}$ (рис. 5.1).

Однак і при цих умовах у циліндрі для запалення палива потрібен якийсь час. Досвід показує, що з найбільшою ефективністю паливо згоряє, якщо заходи до запалення його в циліндрі вживають до приходу поршня у в.м.т. Так у режимі роботи двигуна з номінальною потужністю, подача в циліндри електричної іскри високої напруги або упорскування палива в дизелях, повинні здійснюватися з випередженням $20-30^\circ$ по куту повороту колінчатого вала.

На діаграмах А і В моменти подачі іскри (у бензинових двигунах) і упорскування палива (у дизелях) відзначені точкою 2. Але запалення палива (поява відкритого полум'я) виникає трохи пізніше, після закінчення необхідних окисних процесів (так званого періоду індук-

ції). Про появу відкритого полум'я звичайно судять по більш різкому наростанню тиску в циліндрі в порівнянні з тиском, що характеризується лінією а-с, відповідної до процесу стиску без запалення палива (на діаграмах А і Б рис. 2 - пунктирна ділянка лінії стиску поблизу точки с).

Помітне підвищення тиску над поршнем при підході його до в.м.т. трохи передчасно навантажує кривошипно-шатунний механізм двигуна, однак це необхідно для підвищення ефективності згоряння. Пізніше запалювання (безпосередньо у в.м.т.), так само як і занадто раннє запалення палива, порушує нормальне протікання наступних процесів робочого циклу й приводить до погіршення економічних та показників потужності двигуна. При пізньому запалюванні через зменшення тиску p_z , що виникає в процесі згоряння, і шкідливому затягуванню цього процесу, при ранньому - внаслідок надмірно великого протитиску на підході поршня до в.м.т. У бензинових двигунах занадто велике випередження подачі іскри служить звичайно причиною виникнення детонаційного згоряння.

Таким чином, хід стиску в початковій стадії сполучається триваючим ще наповненням циліндра, а наприкінці його починається вже процес згоряння палива. Але основним процесом цього ходу є все-таки процес стиску, тому другий такт роботи чотиритактного двигуна називається тактом стиску.

III такт - такт розширення в чотиритактному двигуні починається при обох закритих клапанах триваючим процесом згоряння, підготовленим наприкінці ходу стиску. Інтенсивне протікання процесу згоряння палива й виділення при цьому великої кількості тепла приводить до різкого підвищення температури й тиску в надпоршневій порожнині. Під дією тиску газів що розширюються, поршень переміщається від в.м.т. до н.м.т. і через шатун повертає колінчатий вал на кут від 360° до 540° , роблячи корисну роботу (рис. 5.1, положення III).

Хід поршня, відповідний до такту розширення й пов'язаний з виділенням тепла й частковим перетворенням його в механічну роботу, називається робочим ходом. На індикаторних діаграмах А і В процес розширення зображений лінією z - b.

Інтенсивність процесу згоряння на індикаторній діаграмі оцінюється вертикальним відрізком c-z лінії підвищення тиску в циліндрі. У дійсності лінія підвищення тиску на згаданих діаграмах трохи відхиляється вправо від вертикалі c-z, тому що поршень при цьому віддаля-

ється від в.м.т. Досвід показує, що робота розширення газів найкраще використовується, коли максимальний тиск у циліндрі p_z виникає при положенні поршня, що відповідає приблизно $10-15^\circ$ кута повороту колінчатого вала від в.м.т.

У цьому випадку, незважаючи на деяке збільшення об'єму надпоршневої порожнини, максимальний тиск у циліндрах двигунів, що працюють без наддування із примусовим запалюванням, становить приблизно $4,0-5,5 \text{ Мн/м}^2$, у дизелях автомобільного типу в межах $5,5-8,0 \text{ Мн/м}^2$, у тепловозних, суднових, стаціонарних та інших двигунах, що працюють із наддуванням, досягає 10 Мн/м^2 і ще більш високих значень. Тому що в дизелях подача палива закінчується після в.м.т., то в ході розширення поблизу в.м.т. у циліндрі практично підтримується постійний тиск. На індикаторній діаграмі Б ця ділянка ходу розширення, зображений лінією $z-z'$ характеризує ступінь попереднього розширення, яке враховують при розрахунках дизелів.

У зв'язку з особливостями протікання процесу згоряння у двигунах із зовнішнім і із внутрішнім сумішоутворенням максимальна температура в їхніх циліндрах у першому випадку досягає $2500-2800^\circ\text{K}$, а в другому (у дизелях) становить $1900-2200^\circ\text{K}$ (рис. 5.1). У міру віддалення поршня від в.м.т. при ході розширення, тиск і температура в циліндрі знижуються. Наприкінці ходу розширення (точка б на діаграмах і в таблиці, зображених на рис. 5.1) тиск у циліндрі становить $0,3-0,5 \text{ Мн/м}^2$, а температура $1100^\circ-1800^\circ\text{K}$. Двигунам з високими ступенями стиску, через порівняно велике розширення відповідають і більш низькі значення зазначених величин.

Для кращого очищення циліндрів від продуктів згоряння (відпрацьованих газів) випускний клапан 2К відкривається значно раніше приходу поршня в н.м.т. Випередження відкриття випускного клапана звичайно становить $40-60^\circ$ кута повороту колінчатого вала. На індикаторних і круговий діаграмах момент відкриття випускного клапана відзначений точкою 3.

До моменту відкриття клапана в циліндрі зберігається ще досить високий тиск, тому витікання продуктів згоряння в атмосферу відбувається під впливом значного перепаду тисків із критичною звуковою швидкістю, що породжує характерний шум вихлопу, яким супроводжується випуск відпрацьованих газів, у поршневих двигунах.

Тому що гази випускаються до приходу поршня в.м.т., тиск у циліндрі наприкінці ходу розширення, як можна це бачити на індика-

торних діаграмах різко знижується. Це створює сприятливі умови для заключного такту робочого циклу, пов'язаного в чотиритактних двигунах з випуском продуктів згоряння.

Робочий хід поршня сполучається, як було показано, із процесом згоряння й з першою стадією випуску продуктів згоряння, проте основним процесом цього ходу й такту є процес розширення.

IV такт - такт випуску починається (при трохи відкритому 5-му випускному клапані 2К) рухом поршня від н.м.т. до в.м.т. під впливом колінчатого вала, що робить поворот на кут від 540 до 720° (рис. 5.1, положення IV).

За хід випуску поршень виштовхує, відпрацьовані гази із циліндра в атмосферу, завершуючи цим другу примусову стадію очищення циліндра. На індикаторних діаграмах А і Б процес випуску зображений лінією б-г. Через опір клапанного отвору й трубопроводів випускної системи тиск у циліндрі при завершенні поршнем ходу випуску залишається вище атмосферного й становить у середньому 0,105-0,12 Мн/м². Температура газів до кінця випуску знижується, але все-таки для різних двигунів становить 850-1200°K.

Якщо зіставити загальну тривалість відкриття випускного клапана, виражену у градусах кута повороту колінчатого вала (рис. 5.1, кругова діаграма), з кутом повороту кривошипа, за який поршень робить хід випуску (рис. 5.1, положення IV), то легко можна виявити, що клапан тримається відкритим майже в 1,5 рази довше, чим відбувається сам хід випуску.

Проте, повністю очистити циліндри від продуктів згоряння, як відзначалося вже, не вдається. В обсязі камери стиску вони завжди залишаються, тому їх називають залишковими газами. Щоб звести до мінімуму кількість залишкових газів, випускний клапан закривають із деяким запізнюванням, що досягають іноді 20 і більш градусів кута повороту колінчатого вала, тобто клапан залишається відкритим, коли поршень починає вже хід випуску.

Таким чином, між двома суміжними робочими циклами одночасно бувають відкриті обидва клапани. Це положення називають перекриттям клапанів. В існуючих поршневих двигунах перекриття клапанів становить 40 і більш градусів кута повороту колінчатого вала. Але помітного перетікання газів не спостерігається, тому що клапани при цьому відкриті на дуже малу величину.

Випуск є четвертим заключним тактом робочого циклу в чоти-

ритактних двигунах. За випуском знову починається впуск - перший такт, і робочий цикл повторюється в розглянутій послідовності, причому впускний і випускний клапани, як було встановлено, відкриваються всього по одному разу за всі чотири такти, на які витрачається два оберти колінчатого вала.

Отже, вал механізму газорозподілу, керуючий у чотиритактних двигунах своєчасним відкриттям і закриттям клапанів при впуску в циліндр свіжого заряду й випуску з нього відпрацьованих газів, повинен обертатися зі швидкістю, у два рази меншої швидкості обертання колінчатого вала.

Отже, у двигунах, що працюють по чотиритактному циклу, корисна робота відбувається тільки в період такту розширення, коли поршень переміщається під дією газів, що розширюються, повертаючи колінчатий вал на 180° , тобто всього на півоберту.

Інші три такти є підготовчими й виконуються при повертанні колінчатого вала на 540° , або на півтора оберти за рахунок інерції маховика й роботи інших циліндрів (у багатоциліндрових двигунах). Таке співвідношення між чотирма ходами поршня є причиною нерівномірності обертання вала, тобто нерівномірності ходу двигуна.

Однак один з підготовчих ходів поршня (хід стиску) необхідний для підвищення термічного коефіцієнта корисної дії двигуна. А в продовженні двох ходів (впуску й випуску) чотиритактний двигун працює як насос при низьких тисках у циліндрі.

Таким чином, чотиритактні двигуни тільки половину часу працюють як теплові двигуни. Проте, чотиритактні двигуни мають гарну економічність, велику надійність та інші позитивні якості, тому вони одержали особливо широке поширення.

Питання для самоперевірки

1. Опишіть робочий цикл поршневого чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння.
2. Охарактеризуйте індикаторні, механічні та ефективні показники робочого циклу чотиритактного двигуна.
3. Що показує індикаторна діаграма двигуна?
4. Що є обов'язковою умовою безперебійної роботи двигуна?
5. Які ще системи обов'язково наявні у двигуні?
6. Чому чотиритактні двигуни одержали найбільше поширення?

ЛЕКЦІЯ № 6. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ БЕНЗИНОВИХ ДВЗ

План лекції. Сумішоутворення. Запалення робочої суміші. Елементи конструкції двигуна. Системи впорскування бензину.

Література: [1], с. 52-70; [2], с. 219-231; [6], с. 233-252;
[8], с. 18-65; [16], с. 30-36.

Серед поршневих двигунів внутрішнього згоряння в наш час найпоширенішим є бензиновий двигун. У бензиновому двигуні запалення паливно-повітряної суміші відбувається примусово, за рахунок електричної іскри.

Основними напрямками вдосконалювання бензинових двигунів є зниження витрати палива, токсичності відпрацьованих газів, підвищення потужності двигуна.

Для реалізації цих вимог на сучасних бензинових двигунах застосовуються ряд систем: безпосереднього упорскування, вдосконалені впускна й випускна системи, турбонаддув, зміни фаз газорозподілу, електронне запалювання паливної суміші, система рециркуляції відпрацьованих газів, електронне управління роботою двигуна.

Система безпосереднього упорскування - забезпечує упорскування палива безпосередньо в камеру згоряння. Залежно від режиму роботи двигуна регулюється кількість палива що впорскується, момент упорскування й утворюються різні види паливно-повітряної суміші (пошарова, гомогенна, стехіометрична гомогенна).

У сучасній впускній системі як правило наявна дросельна заслінка з електричним приводом і впускними заслінками на кожний циліндр. Впускні заслінки розділяють потік повітря на два канали – вільний, й перекриваний заслінкою. Закриті впускні заслінки забезпечують пошарове сумішоутворення за рахунок вихрового руху повітря в камері згоряння.

Турбонаддув є досить ефективною системою підвищення потужності бензинового двигуна, що ґрунтується на стиску усмоктуваного повітря за допомогою енергії відпрацьованих газів. Разом з тим, застосування турбонаддуву на бензинових двигунах обмежене можливістю

настання детонації.

Система зміни фаз газорозподілу забезпечує ефективну роботу газорозподільного механізму в різних режимах роботи двигуна (холостий хід, низькі оберти, високі оберти). У різних конструкціях систем ефект досягається за рахунок зміни моменту відкриття (закриття) клапанів, тривалості їх відкриття, а також висоти їхнього підйому.

Найбільш досконалою системою запалення паливно-повітряної суміші бензинового двигуна є електронна система запалювання, у якій створення й розподіл струму високої напруги по циліндрах двигуна здійснюється за допомогою електронних компонентів – датчиків і блоку управління.

Випускна система крім випуску відпрацьованих газів, у значній мірі також знижує їхню токсичність. Цю функцію в системі виконує каталітичний нейтралізатор, що працює під керуванням кисневого датчика – лямбда-зонда.

Зниженню токсичності відпрацьованих газів, сприяє система рециркуляції відпрацьованих газів. Система зменшує вміст у відпрацьованих газах, оксиду азоту шляхом повернення їх частини у впускний колектор.

Система управління двигуном поєднує роботу всіх перерахованих систем, забезпечуючи їх оптимальне функціонування на всіх режимах роботи двигуна.

Далі розглянемо більш детально конструктивні особливості вказаних систем сучасних бензинових двигунів серійних автомобілів.

Система безпосереднього упорскування палива є найсучаснішою системою упорскування палива бензинових двигунів. Робота системи заснована на упорскуванні палива безпосередньо в камеру згоряння двигуна.

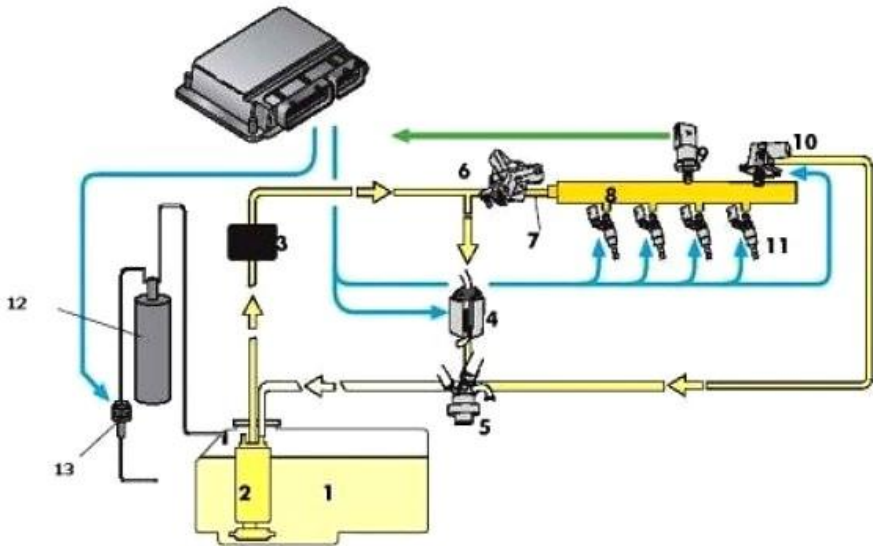
Вперше система безпосереднього упорскування була застосована на двигуні GDI (Gasoline Direct Injection – безпосереднє упорскування бензину), встановлюваному на автомобілі компанії Mitsubishi. У цей час система безпосереднього упорскування використовується у двигунах багатьох автовиробників. Найбільш часто такі системи використовуються на автомобілях Audi (двигуни TFSI) і Volkswagen (двигуни FSI, TSI), які практично повністю перейшли на бензинові двигуни з безпосереднім упорскуванням.

Двигуни з безпосереднім упорскуванням також мають у своєму

активі компанії BMW (двигуни N54, N63), Infiniti (двигуни M56), Ford (двигуни Ecoboost), General Motors (двигуни Ecotec), Hyundai (двигуни Theta), Mazda (двигуни Skyactiv), Mercedes-Benz (двигуни CGI).

Застосування системи безпосереднього упорскування дозволяє досягти до 15 % економії палива, а також скорочення викиду шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Конструкцію системи безпосереднього упорскування палива розглянемо на прикладі системи, установлюваної на двигуни FSI (Fuel Stratified Injection – пошарове упорскування палива). Система безпосереднього упорскування містить у собі контур високого тиску паливної системи двигуна й включає паливний насос високого тиску, регулятор тиску палива, паливну рампу, запобіжний клапан, датчик високого тиску й форсунки упорскування.



- 1 - паливний бак, 2 - паливний насос, 3 - паливний фільтр,
 4 - перепускний клапан, 5 - регулятор тиску палива,
 6 - паливний насос високого тиску, 7 - трубопровід високого тиску,
 8 - розподільний трубопровід, 9 - датчик високого тиску,
 10 - запобіжний клапан, 11 - форсунки упорскування,
 12 - адсорбер, 13 - електромагнітний запірний клапан
 продувки адсорбера

Рисунок 6.1 - Схема системи упорскування Motronic MED7

Паливний насос високого тиску служить для подачі палива до паливної рампи й далі до форсунок упорскування під високим тиском (3-11 МПа) відповідно до потреб двигуна. Основу конструкції насоса складає один або кілька плунжерів. Насос приводиться в дію від розподільного валу впускних клапанів.

Регулятор тиску палива забезпечує дозовану подачу палива насосом відповідно до упорскування форсунки. Регулятор розташований у паливному насосі високого тиску. **Паливна рампа** служить для розподілу палива по форсунках упорскування й запобігання пульсації палива в контурі. **Запобіжний клапан** захищає елементи системи упорскування від граничних тисків, що виникають при температурному розширенні палива. Клапан установлюється на паливній рампі.

Датчик високого тиску призначений для виміру тиску в паливній рампі. Відповідно до сигналів датчика блок управління двигуном може змінювати тиск у паливній рампі. Форсунка упорскування забезпечує розпилення палива в камері згоряння для утвору паливно-повітряної суміші.

Погоджену роботу системи забезпечує електронна система управління двигуном, яка є подальшим розвитком об'єднаної системи упорскування й запалювання. Традиційно система управління двигуном поєднує вхідні датчики, блок управління й виконавчі механізми.

Крім датчика високого тиску палива в інтересах системи безпосереднього упорскування працюють датчик частоти обертання колінчатого вала, датчик положення розподільного вала, датчик положення педалі акселератора, витратомір повітря, датчик температури охолодної рідини, датчик температури повітря на впуску.

У сукупності датчики забезпечують необхідною інформацією блок управління двигуном, на підставі якої блок впливає на виконавчі механізми - електромагнітні клапани форсунок, запобіжний і пропускний клапани.

Принцип дії системи безпосереднього упорскування.

Система безпосереднього упорскування в результаті роботи забезпечує кілька видів сумішоутворення:

- пошарове;
- стехіометричне гомогенне;
- гомогенне.

Різноманіття в сумішоутворенні визначає високу ефективність використання палива (економія, якість утвору суміші, її повне згорян-

ня, збільшення потужності, зменшення шкідливих викидів) на всіх режимах роботи двигуна. Пошарове сумішоутворення використовується при роботі двигуна на малих і середніх обертах і навантаженнях. Стехіометричне (інше найменування – легкозаймисте) гомогенне (інше найменування – однорідне) сумішоутворення застосовується при високих обертах двигуна й великих навантаженнях. На бідній гомогенній суміші двигун працює в проміжних режимах.

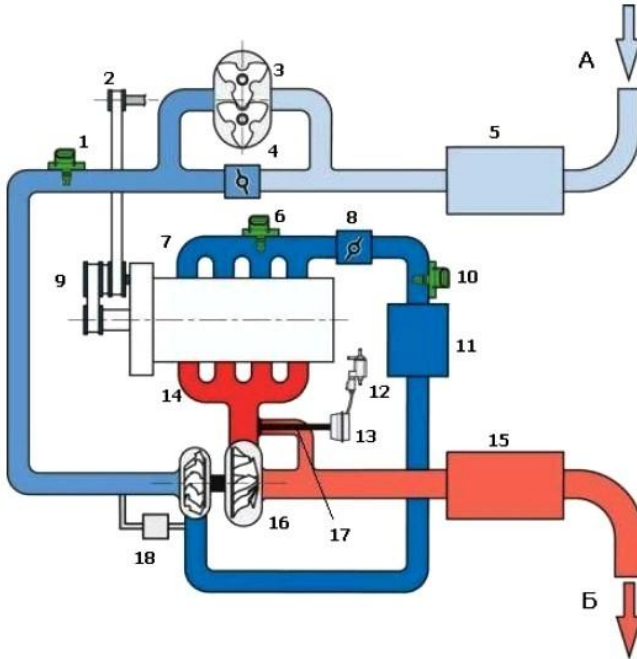
При пошаровому сумішоутворенні дросельна заслінка майже повністю відкрита, впускні заслінки закриті. Повітря надходить у камери згоряння з великою швидкістю, з утвором повітряного вихру. Упорскування палива проводиться в зону свічі запалювання наприкінці такту стиску. За нетривалий час до запалення в районі свічі запалювання утворюється паливно-повітряна суміш із коефіцієнтом надлишку повітря від 1,5 до 3. При запаленні суміші навколо неї залишається досить багато чистого повітря, яке виступає в ролі теплоізолятора.

Гомогенне стехіометричне сумішоутворення відбувається при відкритих впускних заслінках, дросельна заслінка при цьому відкривається відповідно до положення педалі газу. Упорскування палива проводиться на такті впуску, що сприяє утвору однорідної суміші. Коефіцієнт надлишку повітря становить 1. Суміш запалюється й ефективно згоряє в повному об'ємі камери згоряння.

Бідна гомогенна суміш утворюється при максимально відкритій дросельній заслінці й закритими впускними заслінками. При цьому створюється інтенсивний рух повітря в циліндрах. Упорскування палива проводиться на такті впуску. Коефіцієнт надлишку повітря підтримується системою керування двигуном на рівні 1,5. При необхідності до складу суміші додаються відпрацьовані гази з випускної системи, вміст яких може доходити до 25 %.

Двигун **TSI (Turbo Stratified Injection)**, дослівно - турбонаддув і пошарове упорскування) поєднує останні досягнення конструкторської думки – безпосереднє упорскування палива і турбонаддув. Концерн Volkswagen розробив і пропонує на своїх автомобілях лінійку двигунів TSI, що різняться по конструкції, обсягу двигуна, показникам потужності. У конструкції двигунів TSI виробником реалізовано два підходи: подвійне наддування й просто турбонаддув. Аббревіатура TSI є запатентованим товарним знаком концерну Volkswagen.

Подвійне наддування двигуна TSI здійснюється залежно від потреби двигуна двома пристроями: механічним нагнітачем і турбокомпресором. Комбіноване застосування даних пристроїв дозволяє реалізувати номінальний крутний момент у широкому діапазоні обертів двигуна.



А – повітря, Б – відпрацьовані гази

- 1 - датчик тиску у впускному трубопроводі з датчиком температури повітря, 2 - привод компресора, 3 - механічний нагнітач, 4 - регулююча заслінка, 5 - повітряний фільтр, 6 - датчик тиску у впускному колекторі з датчиком температури повітря, 7 - впускний колектор, 8 - дросельна заслінка, 9 - магнітна муфта, 10 - датчик тиску наддування з датчиком температури повітря, 11 - інтеркулер, 12 - клапан обмеження тиску наддування, 13 - вакуумний привод, 14 - випускний колектор, 15 - каталітичний нейтралізатор, 16 - турбокомпресор, 17 - перепускний клапан, 18 - клапан рециркуляції турбокомпресора

Рисунок 6.2 - Схема подвійного наддування двигуна TSI

У конструкції двигуна використовується механічний нагнітач

типу Roots. Він являє собою два ротори певної форми, поміщених у корпус. Ротори обертаються в протилежні сторони, чим досягається усмоктування повітря з одного боку, стиск і нагнітання – з іншого. Механічний нагнітач має ремінний привод від колінчатого вала. Привод активізується за допомогою магнітної муфти. Для регулювання тиску наддування паралельно компресору встановлена регулювальна заслінка.

На двигуні TSI з подвійним наддуванням установлений стандартний турбокомпресор. Охолодження наддувочного повітря здійснюється інтеркулером повітряного типу.

Ефективну роботу подвійного наддування забезпечує система управління двигуном, яка крім електронного блоку поєднує входні датчики (тиску у впускному трубопроводі, тиску наддування, тиску у впускному колекторі, потенціометр регулюючої заслінки) і виконавчі механізми (магнітну муфту, серводвигун регулюючої заслінки, клапан обмеження тиску наддування, клапан рециркуляції турбокомпресора).

Датчики відслідковують тиск наддування в різних місцях системи: після механічного нагнітача, після турбокомпресора й після інтеркулера. Кожний з датчиків тиску об'єднаний з датчиками температури повітря.

Магнітна муфта включається по сигналах блоку управління двигуном, при яких на магнітну котушку подається напруга. Магнітне поле притягає фрикційний диск і замикає його зі шківом. Механічний компресор починає обертатися. Робота компресора проводиться доти, поки на магнітну котушку подається напруга.

Серводвигун повертає регулюючу заслінку. При закритій заслінці все усмоктуване повітря проходить через компресор. Регулювання тиску наддування механічного компресора проводиться шляхом відкриття заслінки. При цьому частина стисненого повітря подається знову в компресор, а тиск наддування знижується. При непрацюючому компресорі заслінка повністю відкрита.

Клапан обмеження тиску наддування спрацьовує, коли енергія відпрацьованих газів створює надлишковий тиск наддування. Клапан забезпечує роботу вакуумного привода, який у свою чергу відкриває перепускний клапан. Частина відпрацьованих газів іде повз турбіну.

Клапан рециркуляції турбокомпресора забезпечує роботу системи на примусовому холостому ході (при закритій дросельній заслі-

нці). Він запобігає створенню надлишкового тиску в проміжку між турбокомпресором і закритою дросельною заслінкою.

Принцип роботи подвійного наддування двигуна TSI. Залежно від частоти обертання колінчатого вала двигуна (навантаження) розрізняють наступні режими роботи системи подвійного наддування:

- безнаддувний режим (до 1000 об/хв);
- робота механічного нагнітача (1000-2400 об/хв);
- спільна робота нагнітача й турбокомпресора (2400-3500 об/хв);
- робота турбокомпресора (понад 3500 об/хв).

На холостих обертах двигун працює у безнаддувному режимі. Механічний нагнітач виключений, регулююча заслінка відкрита. Енергія відпрацьованих газів невелика, турбокомпресор не створює тиску наддування. З ростом числа обертів, включається механічний нагнітач і закривається регулююча заслінка. Тиск наддування, в основному, створює механічний нагнітач (0,17 МПа). Турбокомпресор забезпечує невеликий додатковий стиск повітря.

При частоті обертання колінчатого вала двигуна в межі 2400-3500 об/хв тиск наддування створює турбокомпресор. Механічний нагнітач підключається при необхідності, наприклад, при різкому прискоренні (різкому відкритті дросельної заслінки). Тиск наддування може досягати 0,25 МПа.

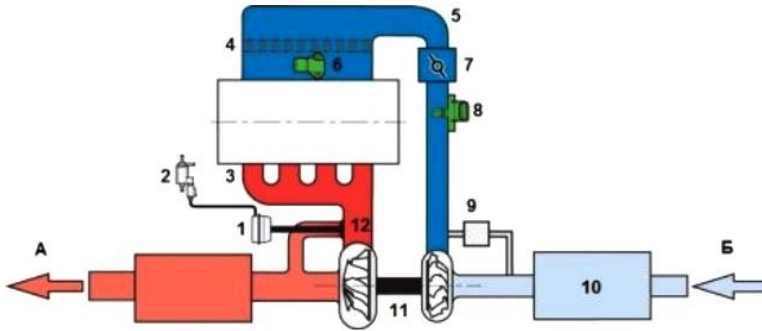
Далі робота системи здійснюється тільки за рахунок турбокомпресора. Механічний нагнітач виключений. Регулююча заслінка відкрита. Для запобігання детонації з ростом числа обертів тиск наддування трохи падає. При частоті обертання 5500 об/хв він становить порядку 0,18 МПа.

Турбонаддув двигуна TSI.

У даних двигунах наддування здійснюється винятково турбокомпресором. Конструкція турбокомпресора забезпечує досягнення номінального крутного моменту вже при низьких обертах двигуна й підтримує його в широкій межі (від 1500 до 4000 об/хв). Видатні характеристики турбокомпресора отримані за рахунок максимального зниження інерції обертових частин: зменшений зовнішній діаметр робочого колеса турбіни й компресора.

Регулювання наддування в системі традиційно здійснюється за допомогою пропускнуго клапана. Клапан може мати пневматичний або електричний привод. Роботу пневматичного привода забезпечує

електромагнітний клапан обмеження тиску наддування. Електричний привод представлений електричним напрямним пристроєм, що складається із електродвигуна, зубчастої передачі, важільного механізму й датчика положення пристрою.



А – повітря, Б – гази, що відроби́ли

- 1 - вакуумний привод, 2 - електромагнітний клапан обмеження тиску наддування, 3 - випускний колектор, 4 - охолоджувач наддувочного повітря, 5 - впускний колектор, 6 - датчик тиску у впускному колекторі з датчиком температури повітря, 7 - модуль дросельної заслінки, 8 - датчик тиску наддування з датчиком температури повітря, 9 - клапан рециркуляції турбокомпресора, 10 - повітряний фільтр, 11 - турбокомпресор, 12 - перепускний клапан

Рисунок 6.3 - Схема турбонаддуву двигуна TSI

У двигуні з турбонаддувом, на відміну від подвійного наддування, використовується рідинна система охолодження наддувочного повітря. Вона має незалежний від системи охолодження двигуна контур і утворює з нею двоконтурну систему охолодження. Система охолодження наддувочного повітря включає: охолоджувач наддувочного повітря, насос, радіатор і систему трубопроводів. Охолоджувач наддувочного повітря розміщений у впускному колекторі. Охолоджувач складається з алюмінієвих пластин, через які проходять труби системи охолодження.

Охолодження наддувочного повітря проводиться по сигналу блоку керування двигуном включенням насоса. Потік нагрітого повітря проходить через пластини, віддає їм тепло, а ті, у свою чергу, віддають його рідині. Охолодна рідина рухається по контуру за допомо-

гою насоса, прохолоджується в радіаторі й далі по колу.

Механічний нагнітач - основний конструктивний елемент системи механічного наддування. За допомогою нагнітача у впускному тракті створюється тиск вище атмосферного, а механічний він тому, що привод робочого органа здійснюється безпосереднього від колінчатого вала двигуна. За рубежом механічний нагнітач називають одним словом – **supercharger**.

Застосування механічного нагнітача забезпечує підвищення потужності (до 50 %) і крутного моменту (до 30 %) двигуна. Разом з тим, механічний нагнітач відрізняють значні витрати потужності двигуна на привод, які можуть досягати 30%.

Механічний нагнітач виконує наступні взаємозалежні функції: втягування повітря, стиск повітря й нагнітання повітря у впускну систему. Втягування повітря відбувається за допомогою створеного розрядження. Для того щоб створити тиск, нагнітач повинен обертатися швидше ніж двигун. Нагнітання повітря у впускний тракт здійснюється за рахунок різниці тисків у системі.

Повітря має властивість нагріватися при стиску, при цьому знижується його щільність і відповідно тиск. Тому в системах наддування стиснене повітря прохолоджується за допомогою спеціального повітряного або рідинного охолоджувача – інтеркулера.

Механічний нагнітач конструктивно може мати один з наступних приводів:

- прямий привод (безпосереднє кріплення нагнітача на фланець колінчатого вала);
- ремінний привод (різні види ременів – клиновий, зубчастий, плаский);
- ланцюговий привод;
- зубчаста передача (циліндричний редуктор);
- електричний привод (окремий електродвигун).

На сучасних автомобілях застосовуються три основні типи механічних нагнітачів: кулачковий (нагнітач Roots), гвинтовий (нагнітач Lysholm) і відцентровий.

Кулачковий нагнітач є самим старим типом механічного нагнітача, тому що використовується на автомобілях з 1900 року. Має іншу назву по імені винахідників – нагнітач Roots; його повсякденна назва "повітродувка". Сучасний кулачковий нагнітач має два трьох- або чо-

тирьохкулачкових ротора, які обертаються назустріч один одному. Кулачки розташовані по спіралі на всій довжині ротора. Кут закручення кулачків забезпечує максимальну ефективність у плані нагнітання й втрат.



Рисунок 6.4 - Механічний нагнітач типу Ruts

По конструкції й принципу дії кулачковий нагнітач дуже схожий на шестеренний масляний насос. Повітря в нагнітачі захоплюється кулачками, переміщається в просторі між кулачками й стінками корпусу, нагнітається у впускний трубопровід. Має місце так зване зовнішнє нагнітання.

Нагнітач Roots характеризує швидке створення необхідного тиску наддування, а також ріст цього тиску зі збільшенням частоти обертання колінчатого вала. Разом з тим у певний момент може утворюватися надлишок тиску, і як наслідок – затори в нагнітальному каналі, зниження потужності двигуна. Тому при використанні механічних нагнітачів усіх типів здійснюється регулювання тиску наддування.

Регулювання тиску наддування проводиться двома способами:

- відключенням нагнітача (наприклад, за допомогою електромагнітної муфти);
- перепусканням повітря при безперервній роботі нагнітача (за допомогою перепускного клапана).

Сучасні системи механічного наддування мають електронне регулювання наддування, яке включає входні датчики (датчик тиску наддування, датчик температури у впускному колекторі та ін.), електронний блок управління, виконавчі механізми (електромеханічний модуль привода перепускного клапана, електромагнітні муфти та ін.).

Нагнітачі Roots мають досить високу вартість, обумовлену малими допусками у виготовленні. Вони висувають підвищені вимоги до чистоти подаваного повітря, тому що сторонній предмет у впускній системі може привести до виходу з ладу нагнітача. Необхідно відзначити велику вагу нагнітача й високий рівень шуму при його роботі. Виробники досить ефективно борються із шумом. Для цього вони використовують спеціальні конструкції корпусу, демпфіруючі пластини, резонатори, демпфери тощо.

Провідним виробником нагнітачів Roots є фірма Eaton, яка в цей час пропонує високоефективні чотириохкулачкові нагнітачі TVS, Twin Vortices Series (дослівно - спарена серія вихрів). Дані нагнітачі встановлюються на серійні двигуни автомобілів Cadillac, Toyota, Audi. На деяких двигунах кулачкові нагнітачі використовуються разом з турбо-нагнітачами, наприклад подвійне наддування двигуна TSI.

Гвинтовий нагнітач (інше найменування по імені винахідника – нагнітач Lysholm) по конструкції схожий на нагнітач Roots. Нагнітач включає два ротори-шнека спеціальної форми (один ротор с виступами, інший – з вилученнями). Ротори мають конічну форму, при якій повітряні камери між роторами зменшуються в розмірі по довжині.

Порція повітря захоплюється шнеками, переміщається й стискується при обертанні шнеків і нагнітається у впускний патрубок. На відміну від кулачкових нагнітачів гвинтовий нагнітач забезпечує внутрішнє (тобто між шнеків) нагнітання повітря, яке більш ефективно. Але ціна гвинтових нагнітачів значно більша, тому й застосовуються вони рідше, в основному на дорогих спортивних автомобілях.

Відцентровий нагнітач у частині нагнітання повітря аналогічний турбокомпресору. Основу нагнітача становить робоче колесо (крильчатка), яке обертається з високою швидкістю (порядку 50000-60000 об/хв).

Повітря засмоктується в центральну частину колеса. Відцентрова сила направляє повітря по лопатах спеціальної форми назовні. З робочого колеса він виходить на великій швидкості й з низьким тиском. При виході повітря зустрічається з дифузorzом, що має безліч стаціонарних лопаток навколо робочого колеса. Високошвидкісний потік повітря низького тиску перетворюється в потік повітря низької швидкості й високого тиску.

Відцентрові нагнітачі найпоширеніші з усіх механічних нагнітачів. Вони компактні, легкі, ефективні, мають можливість різноманіт-

ного кріплення на двигуні. До недоліків відцентрових нагнітачів слід віднести залежність продуктивності від швидкості обертання колінчатого вала. Ця якість відцентрових нагнітачів припускає використання привода зі змінним передатним відношенням. Максимальне передатне відношення привода потрібне при низьких обертах двигуна, мінімальне - при високих обертах.

Область застосування механічних нагнітачів досить широка: спортивні й серійні автомобілі, а також тюнінг автомобілів. Практично всі спортивні автомобілі використовують механічні нагнітачі – це їх основне застосування. Установка механічних нагнітачів є одним з напрямків тюнінгу автомобілів.

Виробники пропонують комплекти, що включають необхідні конструктивні елементи для установки на двигун. На серійних автомобілях механічні нагнітачі зустрічаються досить рідко. У силу своєї конструкції нагнітачі Roots і Lysholm застосовуються для забезпечення високої розгінної динаміки, відцентрові нагнітачі ефективні в підтримці високих швидкостей.

Інтеркулер - проміжне охолодження повітря.

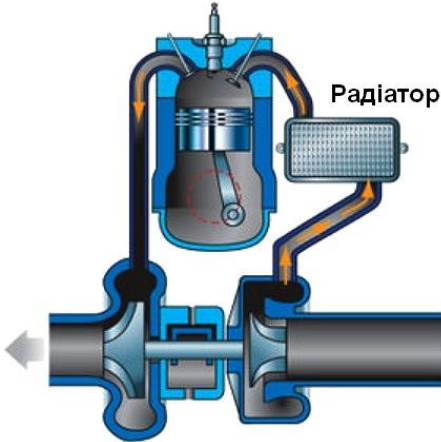


Рисунок 6.5 - Проміжне охолодження повітря

У двигунах, обладнаних турбонаддувом, усмоктуване повітря стискується зі збільшенням щільності. Разом з тим, термодинамічний ефект від стиску повітря приводить до збільшення температури до 200°C.

Цьому сприяє й сам турбокомпресор, що нагрівається відпрацьованими газами.

При нагріванні щільність повітря знижується й відповідно знижується тиск наддування. У бензинових двигунах, крім цього, гаряче повітря збільшує ймовірність настання детонації,

а у відпрацьованих газах у великій кількості утворюються оксиди азоту. Для охолодження повітря, що надходить від турбокомпресора, застосовується інтеркулер (intercooler, дослівно – проміжний охо-

лоджувач, інша назва – охолоджувач наддувочного повітря). Інтеркулер забезпечує охолодження повітря до 50-60°C, чим досягається краще наповнення циліндрів і відповідно збільшується потужність двигуна.

Як показує практика, зниження температури наддувочного повітря на 10°C дає близько 3% приросту потужності. При цьому горіння паливно-повітряної суміші стає більш ефективним, підвищується паливна економічність і зниження шкідливих викидів. У цілому ефект від використання інтеркулера становить порядку 20% підвищення потужності двигуна.

Але не все так гладко із застосуванням інтеркулера. Прохолоджуючи наддувочне повітря, інтеркулер створює перешкоду для цього повітря, а виходить, знижується тиск наддування. Тому інтеркулер у системі турбонаддуву це завжди компроміс ефекту й втрат для досягнення цього ефекту.

За принципом охолодження наддувочного повітря розрізняють два типи охолоджувачів: повітряного охолодження й водяного охолодження. Завдяки своїй простоті найбільше поширення одержали проміжні охолоджувачі повітряного типу. Інтеркулер устатковується між компресором і впускним колектором. Конструктивно охолоджувач являє собою теплообмінник, що складається із системи труб й пластин між ними.

Труби змінюють свій напрямок по довжині, чим досягається збільшення загальної довжини теплообмінника й краще охолодження повітря. З іншої сторони кожний вигин труби являє собою перешкоду для повітря й приводить до зниження тиску наддування. Пластини збільшують площу поверхні інтеркулера й забезпечують кращу тепловіддачу. У якості матеріалу для труб і пластин використовується алюміній що володіє високою теплопровідністю. Рідше застосовується мідь.

Інтеркулер повітряного типу встановлюється у вільному місці в підкапотному просторі:

- у центральній частині за переднім бампером (у бампері виконується відповідний виріз);
- над двигуном під капотом (у капоті виконується повітрязабірник спеціальної форми);
- у бічній частині передніх крил ліворуч і праворуч (у крилах виконуються повітрязабірники спеціальної форми).

Створення інтеркулера для потреб конкретного двигуна полягає у визначенні безлічі конструктивних параметрів: фронтальна площа теплообмінника, внутрішній прохідний перетин, внутрішній об'єм, товщина теплообмінника, напрямок потоку в теплообміннику й ряд інших.

Інтеркулер водяного типу має ряд незаперечних переваг, у порівнянні з повітряним аналогом. Завдяки своїй компактності водяний охолоджувач може бути встановлений у будь-якому вільному місці в підкапотному просторі. Вода (охолодна рідина) відводить тепло більш інтенсивно, тому ефективність водяного інтеркулера значно вища. Правда, при нагріванні рідини потрібно більше часу для остигання.

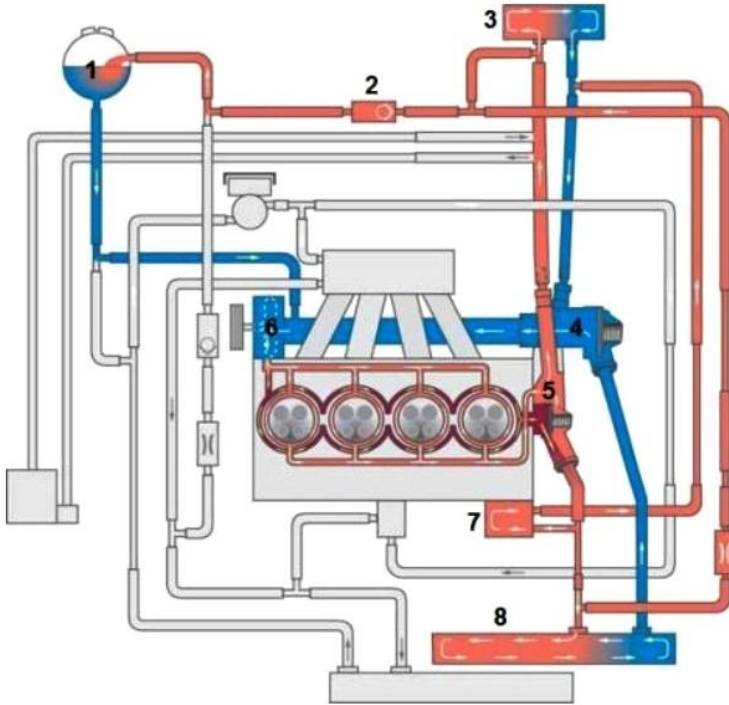
За всі переваги доводиться розплачуватися досить складною конструкцією інтеркулера, яка крім водяного теплообмінника включає повітряний радіатор, водяний насос, систему патрубків, електронний блок керування. Разом із системою охолодження двигуна вони утворюють двоконтурну систему охолодження.

Через складність конструкції система охолодження наддувочного повітря водяного типу застосовується досить рідко, у випадках, коли повітряний охолоджувач застосувати неможливо. Наприклад, водяний охолоджувач наддувочного повітря застосовується на деяких двигунах TSI.

Двоконтурна система охолодження.

На деяких моделях бензинових двигунів з турбонаддувом застосовується двоконтурна система охолодження. Один контур забезпечує охолодження двигуна, інший - охолодження наддувочного повітря. Контури охолодження незалежні друг від друга, але мають з'єднання й використовують загальний розширювальний бачок. Незалежність контурів дозволяє підтримувати різну температуру охолодної рідини в кожному з них, різниця температури може досягати 100°C. Змішуватися потокам охолодної рідини не дають два зворотні клапани й дросель.

Перший контур - система охолодження двигуна. Стандартна система охолодження підтримує температурний режим двигуна в межах 105°C. На відміну від стандартної, у двоконтурній системі охолодження забезпечується температура в головці блоку циліндрів у межах 87°C, у блоці циліндрів – 105°C. Це досягнуто за рахунок застосування двох термостатів. По своїй суті це двоконтурна система охолодження.



1 - розширювальний бачок, 2 - зворотний клапан, 3 - теплообмінник нагрівника, 4 - перший термостат, 5 - другий термостат, 6 - насос охолодної рідини, 7 - масляний радіатор, 8 - радіатор системи охолодження двигуна

Рисунок 6.6 - Схема двоконтурної системи охолодження (перший контур)

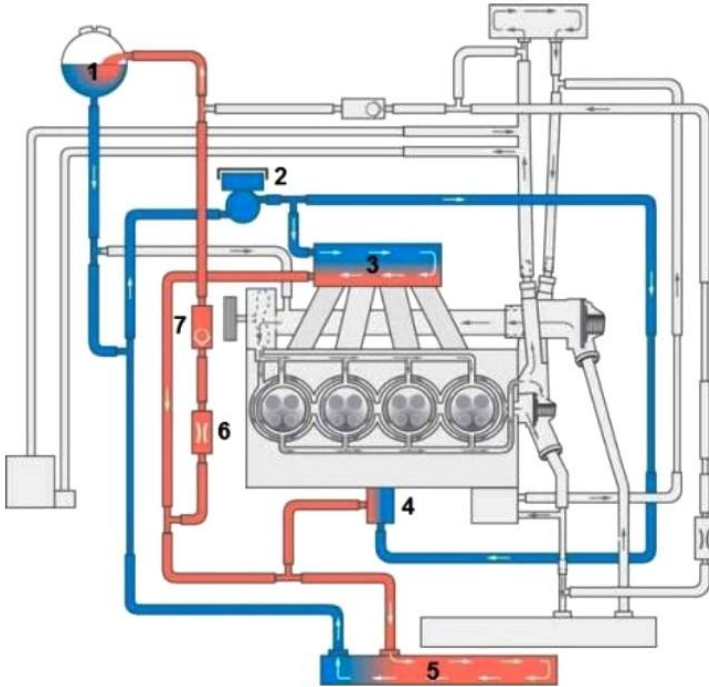
Тому що в контурі головки блоку циліндрів повинна підтримуватися більш низька температура, то в ньому циркулює більший обсяг охолодної рідини (порядку 2/3 від загального обсягу). Інша охолодна рідина циркулює в контурі блоку циліндрів.

Для забезпечення рівномірного охолодження головки блоку циліндрів циркуляція охолодної рідини в ній проводиться по напрямковій від випускного колектора до впускного. Така схема роботи називається поперечним охолодженням.

Висока інтенсивність охолодження головки блоку циліндрів супроводжується високим тиском охолодної рідини. Цей тиск змушено

долати термостат при відкритті. Для полегшення роботи в конструкції системи охолодження один з термостатів виконаний із двоступінчастим регулюванням. Тарілка такого термостата складається із двох взаємозалежних частин: малої й великої тарілки. Спочатку відкривається мала тарілка, яка потім піднімає більшу тарілку.

Керування роботою системи охолодження здійснює система управління двигуном. При запуску двигуна обидва термостата закриті. Забезпечується швидкий прогрів двигуна. Охолодна рідина циркулює по малому колу контуру головки блоку циліндрів: від насоса через головку блоку циліндрів, теплообмінник нагрівника, масляний радіатор і далі в розширювальний бачок. Даний цикл здійснюється до досягнення охолодною рідиною температури 87°C .



- 1 - розширювальний бачок, 2 - насос циркуляції охолодної рідини,
3 - охолоджувач наддувочного повітря, 4 - турбокомпресор, 5 - радіатор
систем охолодження наддувочного повітря, 6 - дросель, 7 - зворотний клапан

Рисунок 6.7 - Схема системи охолодження наддувочного повітря (другий контур)

При температурі 87°C відкривається термостат контуру головки блоку циліндрів і охолодна рідина починає циркулювати по великому колу: від насоса через головку блоку циліндрів, теплообмінник нагрівника, масляний радіатор, відкритий термостат, радіатор і далі через розширювальний бачок. Даний цикл здійснюється до досягнення охолодною рідиною в блоці циліндрів температури 105°C.

При температурі 105°C відкривається термостат контуру блоку циліндрів і в ньому починає циркулювати рідина. При цьому в контурі головки блоку циліндрів завжди підтримується температура на рівні 87°C.

Другий контур - система охолодження наддувочного повітря.

Система охолодження наддувочного повітря представлена охолоджувачем, радіатором, насосом, які з'єднані трубопроводами. У систему охолодження також включений корпус підшипників турбокомпресора.

Циркуляція охолодної рідини в контурі здійснюється за допомогою окремого насоса, який включається при необхідності по сигналу блоку керування двигуном. Рідина, проходячи через охолоджувач, забирає тепло наддувочного повітря й далі охолоджується в радіаторі.

Система упорскування води у двигун.

Компанія Bosch постійно працює над удосконалюванням систем безпосереднього упорскування палива. Однією з її нових розробок є система упорскування води у двигун.

У минулому столітті упорскування води у двигун вже застосовувалося на автомобілях General Motors, Saab. Але з появою у двигуні інтеркулера, що прохолоджує впускне повітря, необхідність у системі упорскування води відпала. Система продовжує застосовуватися в автоспорті, але й тут вона не в пошані. У перегонах Формули-1 і WRC система заборонена регламентом.

Система Waterboost від Bosch відкриває нову сторінку в історії упорскування води у двигун. Сьогодні більшість електронних систем упорскування палива запрограмовані на додаткову подачу палива при високих навантаженнях. Додаткове паливо (до 20% від загального обсягу) необхідно для охолодження камери згоряння й зниження температури горіння паливно-повітряної суміші.

Для охолодження в системі Waterboost використовується вода замість бензину. Вода активно прохолоджує паливно-повітряну суміш, за рахунок чого підвищується стійкість до детонації, проводиться

більш раннє запалювання й, у звичайно підсумку, збільшується продуктивність двигуна. Як заявляє розроблювач, система упорскування води у двигун на 5% підвищує потужність двигуна, на 13% скорочує витрати палива, на 4% знижує викиди вуглекислого газу.

Конструкція системи упорскування води включає водяний бачок, водяний насос і водяні форсунки. Електронне керування упорскуванням води здійснює система управління двигуном. П'ятилітровою бачка дистильованої води вистачає на 5000 км шляху. Але навіть якщо вода в бачку закінчиться, шкоди двигуну це не доправить. Мотор не буде розвивати максимальну потужність і збільшиться витрата палива. Не варто турбуватися й про можливе замерзання води в бачку. Як тільки двигун нагріє підкапотний простір, вода в бачку розтане.

Першим автовиробником, який довів розробку Bosch до впровадження, стала компанія BMW. Сьогодні BMW установлює систему упорскування води на автомобілях М-Серії, що забезпечують безпеку на перегонах Motogr. Також система упорскування води випробовується на прототипі BMW 1-й серії.

Система упорскування води у двигун нагнітає воду з бачка й розпорошує її у впускному колекторі, чим досягається зниження температури згоряння суміші на 25°C. Це дозволяє BMW використовувати ступінь стиску 11:1, замість припустимого співвідношення 9,5:1. Завдяки більш високому ступеню стиску на 8% знижується витрата палива й на 10% збільшується крутний момент і потужність двигуна.

Більш низька температура згоряння суміші знижує навантаження на кривошипно-шатунний механізм, газорозподільний механізм, турбокомпресор, каталітичний нейтралізатор, все це підвищує термін служби цих компонентів. У системі використовується дистильована вода, яка може заправлятися в бачок ззовні або заповнюватися конденсатом від системи кондиціонування. Для запобігання корозії й розморожування, при зупинці двигуна вода повністю виганяється із системи в бачок. Про строки повномасштабного впровадження системи упорскування води у двигун BMW поки не повідомляє.

Система зміни геометрії впускного колектора.

Ця система є однією із затребуваних технологій підвищення потужності двигуна, економії палива, зниження токсичності відпрацьованих газів. Зміна геометрії впускного колектора може бути реалізовано двома способами:

- зміною довжини впускного колектора;
- зміною поперечного перерізу впускного колектора.

У ряді випадків зміна геометрії впускного колектора на одному двигуні здійснюється одночасно двома способами.

Впускний колектор змінної довжини застосовується в атмосферних бензинових і дизельних двигунах для забезпечення кращого наповнення камери згоряння повітрям на всьому діапазоні обертів двигуна.

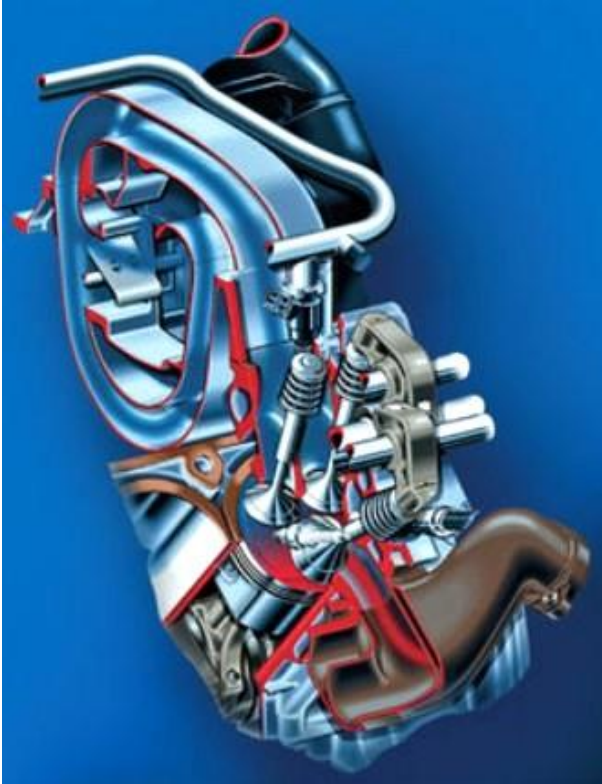


Рисунок 6.8 - Впускний колектор змінної довжини

На низьких обертах двигуна потрібне досягнення максимального крутного моменту якнайшвидше, для чого використовується довгий впускний колектор. Високі оберти виводять двигун на максимальну потужність при короткому впускному колекторі.

Впускний колектор змінної довжини використовують у конструкції двигунів багато виробників, деякі надали системі власні назви:

- Dual-Stage Intake, DSI від Ford;
- Differential Variable Air Intake, DIVA від BMW;
- Variable Inertia Charging System, VICS, Variable Resonance Induction System, VRIS від Mazda.

Регулювання довжини впускного колектора (перемикання з однієї довжини на іншу) проводиться за допомогою клапана, що входить до складу системи управління двигуном.

Робота впускного колектора змінної довжини здійснюється в такий спосіб. При закритті впускних клапанів у впускному колекторі залишається частина повітря, яка робить коливання із частотою пропорційній довжині колектора й обертам двигуна. У певний момент коливання повітря входять у резонанс, чим досягається ефект нагнітання – так зване резонансне наддування. При відкритті впускних клапанів повітряна суміш у камери згоряння нагнітається з більшим тиском. У надувних двигунах впускний колектор змінної довжини не використовується, тому що необхідний обсяг повітря в камері згоряння забезпечується механічним і (або) турбокомпресором. Впускний колектор у таких двигунах дуже короткий, що скорочує розміри двигуна і його вартість.

Впускний колектор змінного перетину застосовується як на бензинових, так і на дизельних двигунах, у т.ч. обладнаних наддуванням. При зменшенні поперечного перерізу каналів впускного колектора досягається збільшення швидкості повітряного потоку, краще сумішоутворення й відповідно забезпечується повне згоряння паливно-повітряної суміші, зниження токсичності відпрацьованих газів.

Відомими системами впуску змінного перетину є:

- Intake Manifold Runner Control, IMRC, Charge Motion Control Valve, CMCV від Ford;
- Twin Port від Opel;
- Variable Intake System, VIS від Toyota;
- Variable Induction System, VIS від Volvo.

У системі впускний канал до кожного циліндра розділений на два канали (окремий канал на кожний впускний клапан), один з яких перекритий заслінкою. Привод заслінки здійснює вакуумний регулятор або електродвигун, що є виконавчим пристроєм системи керування двигуном.



- 1 - робота системи при повному навантаженні (заслінка відкрита),
 2 - робота системи при частковому навантаженні (заслінка закрита,
 завихрення паливно-повітряної суміші), 3 - вихровий канал,
 4 - вакуумний регулятор заслінки, 5 - форсунка,
 6 - заслінка, 7 - канал наповнення

Рисунок 6.9 - Схема системи зміни геометрії впускного колектора

При частковому навантаженні заслінки закриті, паливно-повітряна суміш (двигуни з розподіленим упорскуванням) або повітря (двигуни з безпосереднім упорскуванням) надходить у камеру згоряння кожного із циліндрів по одному каналу. При цьому створюються завихрення, які забезпечують краще сумішоутворення.

При зменшенні перетину впускного колектора раніше вступає в роботу система рециркуляції відпрацьованих газів, тим самим підвищується паливна економічність двигуна. При повному навантаженні заслінки впускного колектора відкриваються, збільшується подача повітря (паливно-повітряної суміші) у камери згоряння й відповідно підвищується потужність двигуна.

Система зміни фаз газорозподілу.

Загальноприйнята міжнародна назва цієї системи - **Variable Valve Timing (VVT)**. Вона призначена для регулювання параметрів роботи газорозподільного механізму залежно від режимів роботи двигуна. Застосування даної системи забезпечує підвищення потужності й крутного моменту двигуна, паливну економічність і зниження шкідливих викидів.

До регульованих параметрів роботи газорозподільного механізму відносяться:

- момент відкриття (закриття) клапанів;
- тривалість відкриття клапанів;
- висота підйому клапанів.

У сукупності ці параметри складають фази газорозподілу – тривалість тактів впуску й випуску, виражену кутом повороту колінчатого вала відносно "мертвих" точок. Фаза газорозподілу визначається формою кулачка розподільного вала, що впливає на клапан.

На різних режимах роботи двигуна потрібна різна величина фаз газорозподілу. Так, при низьких обертах двигуна фази газорозподілу повинні мати мінімальну тривалість ("вузькі" фази). На високих обертах, навпаки, фази газорозподілу повинні бути максимально широкими й при цьому забезпечувати перекриття тактів впуску й випуску (природню рециркуляцію відпрацьованих газів).

Кулачок розподільного вала має певну форму й не може одночасно забезпечити вузькі й широкі фази газорозподілу. На практиці форма кулачка являє собою компроміс між високим крутним моментом на низьких обертах і високою потужністю на високих обертах колінчатого вала. Це протиріччя саме й вирішує система зміни фаз газорозподілу.

Залежно від регульованих параметрів роботи газорозподільного механізму розрізняють наступні способи змінювання фаз газорозподілу:

- поворот розподільного вала;
- застосування кулачків з різним профілем;
- зміна висоти підйому клапанів.

Найпоширенішими є системи зміни фаз газорозподілу, які використовують поворот розподільного вала:

- **VANOS (Double VANOS)** від BMW;
- **VVT-i (Dual VVT-i)**, Variable Valve Timing with intelligence

- від Toyota;
- **VVT**, Variable Valve Timing від Volkswagen;
 - **VTC**, Variable Timing Control від Honda;
 - **CVVT**, Continuous Variable Valve Timing від Hyundai, Kia, Volvo, General Motors;
 - **VCP**, Variable Cam Phases від Renault.

Принцип роботи даних систем заснований на повороті розподільного вала по ходу обертання, чим досягається раннє відкриття клапанів у порівнянні з вихідним положенням.

Конструкція системи зміни фаз газорозподілу даного типу включає гідрокеровану муфту й систему керування цією муфтою.

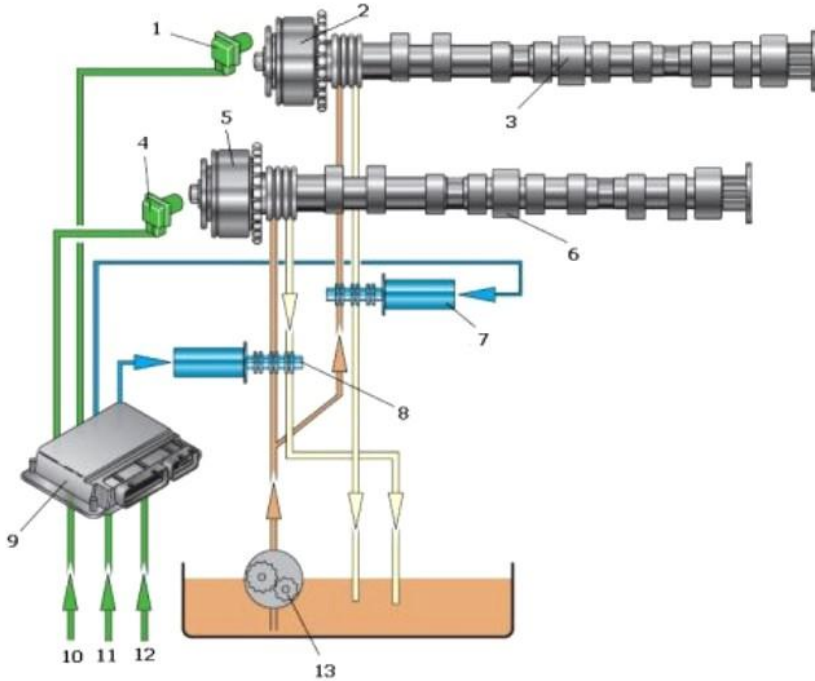


Рисунок 6.10 – Механізм газорозподілу двигуна

Гідрокерована муфта (повсякденна назва - "фазообертач") безпосередньо здійснює поворот розподільного вала. Муфта складається з ротора, з'єднаного з розподільним валом, і корпусу, у ролі якого виступає шків привода розподільного вала. Між ротором і корпусом є порожнини, до яких по каналах підводиться моторне масло. Заповнення тієї або іншої порожнини маслом забезпечує поворот ротора щодо корпусу й відповідно поворот розподільного вала на певний кут.

Здебільшого гідрокерована муфта встановлюється на розподільний вал впускних клапанів. Для розширення параметрів регулювання в окремих конструкціях муфти встановлюються на впускний і випускний розподільні вали. Система керування забезпечує автоматичне регулювання роботи гідрокерованої муфти. Конструктивно вона включає вхідні датчики, електронний блок керування й виконавчі пристрої. У роботі системи керування використовуються датчики Холу, що оці-

нують положення розподільних валів, а також інші датчики системи керування двигуном: частоти обертання колінчатого вала, температури охолодної рідини, витратомір повітря.



- 1 - датчик Холу впускного розподільного вала, 2 - гідрокерована муфта впускного вала (фазообертач), 3 - впускний розподільний вал, 4 - датчик Холу випускного розподільного вала, 5 - гідрокерована муфта випускного вала (фазообертач), 6 - випускний розподільний вал, 7 - електрогидравлічний розподільник впускного вала (електромагнітний клапан), 8 - електрогидравлічний розподільник випускного вала (електромагнітний клапан), 9 - блок керування двигуном, 10 - сигнал від датчика температури охолодної рідини, 11 - сигнал витратоміра повітря, 12 - сигнал датчика частоти обертання колінчатого вала двигуна, 13 - масляний насос

Рисунок 6.11 - Схема системи автоматичної зміни фаз газорозподілу

Блок управління двигуном приймає сигнали від датчиків і формує керуючі впливи на виконавчий пристрій – електрогидравлічний

розподільник. Розподільник являє собою електромагнітний клапан і забезпечує підведення масла до гідрокерованої муфти й відвід від неї залежно від режимів роботи двигуна.

Система зміни фаз газорозподілу передбачає роботу, як правило, у наступних режимах:

- холостий хід (мінімальні оберти колінчатого вала);
- максимальна потужність;
- максимальний крутний момент.

Інший різновид системи зміни фаз газорозподілу побудований на застосуванні кулачків різної форми, чим досягається східчаста зміна тривалості відкриття й висоти підйому клапанів. Відомими такими системами є:

- **VTEC**, Variable Valve Timing and Lift Electronic Control від Honda;
- **VVTL-i**, Variable Valve Timing and Lift with intelligence від Toyota;
- **MIVEC**, Mitsubishi Innovative Valve timing Electronic Control від Mitsubishi;
- **Valvelift System** від Audi.

Дані системи мають, в основному, схожу конструкцію й принцип дії, за винятком Valvelift System. Приміром, одна з найвідоміших система VTEC включає набір кулачків різного профілю й систему керування. Розподільний вал має два малі й один великий кулачок.

Малі кулачки через відповідні коромисла (рокери) з'єднані з парою впускних клапанів. Великий кулачок переміщає вільне коромисло. Система керування забезпечує перемикання з одного режиму роботи на інший шляхом спрацьовування блокувального механізму. Блокувальний механізм має гідравлічний привід.

При низьких обертах двигуна (малому навантаженню) робота впускних клапанів проводиться від малих кулачків, при цьому фази газорозподілу характеризуються малою тривалістю. При досягненні обертів двигуна певного значення, система керування пускає в хід блокувальний механізм. Коромисла малих і великого кулачків з'єднуються за допомогою стопорного штифта в одне ціле, при цьому зусилля на впускні клапани передається від великого кулачка.

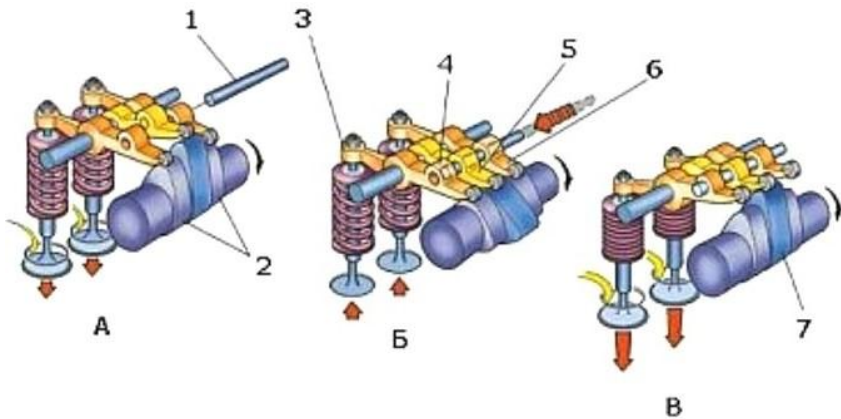
Інша модифікація системи VTEC має три режими регулювання, обумовлені роботою одного малого кулачка (відкриття одного впускного клапана, малі оберти двигуна), двох малих кулачків (відкриття

двох впускних клапанів, середні оберти), а також великого кулачка (високі оберти).

Сучасною системою зміни фаз газорозподілу від Honda є система I-VTEC, що поєднує системи VTEC і VTC. Дана комбінація істотно розширює параметри регулювання двигуна.

Найбільш досконалий, з конструктивної точки зору, різновид системи зміни фаз газорозподілу, заснований на регулюванні висоти підйому клапанів. Дана система дозволяє відмовитися від дросельної заслінки на більшості режимів роботи двигуна. Піонером у цій області є компанія BMW і її система **Valvetronic**. Аналогічний принцип використаний і в інших системах:

- **Valvematic** від Toyota;
- **VEL**, Variable Valve Event and Lift System від Nissan;
- **Multiair** від Fiat;
- **VTI**, Variable Valve and Timing Injection від Peugeot.



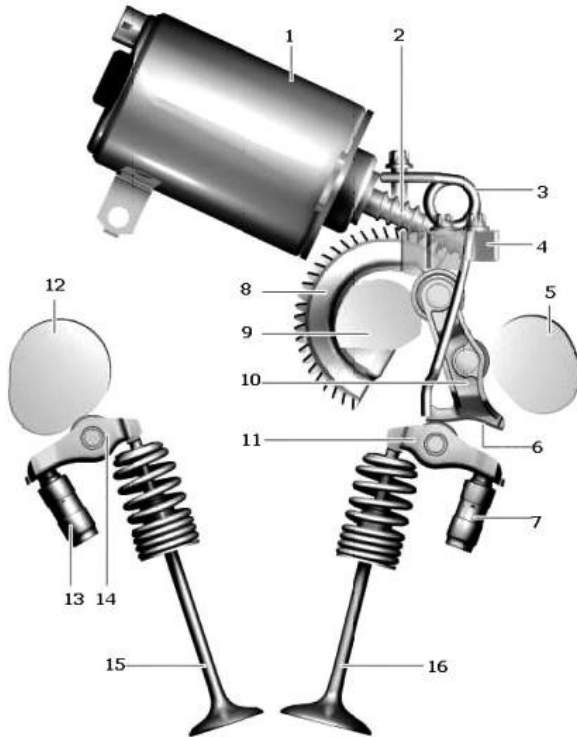
А - режим низьких обертів двигуна, Б - перехід з одного режиму на інший, В - режим високих обертів двигуна

- 1 - блокувальний механізм (стопорний штифт), 2 - малі кулачки (кулачки низьких обертів), 3 - впускний клапан, 4 - коромисло (рокер) першого впускного клапана, 5 - проміжне коромисло, 6 - коромисло другого впускного клапана, 7 - великий кулачок (кулачок високих обертів)

Рисунок 6.12 - Схема системи VTEC

У системі **Valvetronic** зміну висоти підйому клапанів забезпечує складна кінематична схема, у якій традиційний зв'язок кулачок-

коромисло-клапан доповнений ексцентриковим валом і проміжним важелем. Ексцентриковий вал обертається електродвигуном через черв'ячну передачу.



- 1 - сервопривод (електродвигун), 2 - черв'ячний вал, 3 - зворотна пружина,
 4 - кулісний блок, 5 - впускний розподільний вал, 6 - похила частина
 проміжного важеля, 7 - гідрокомпенсатор впускного клапана,
 8 - черв'ячне колесо, 9 - ексцентриковий вал, 10 - проміжний важіль,
 11 - коромисло впускного клапана, 12 - випускний розподільний вал,
 13 - гідрокомпенсатор випускного клапана, 14 - коромисло випускного
 клапана, 15 - випускний клапан, 16 - впускний клапан

Рисунок 6.13 - Схема системи Valvetronic

Обертання ексцентрикового вала змінює положення проміжного важеля, який, у свою чергу, задає певний рух коромисла й відповідне йому переміщення клапана. Зміна висоти підйому клапана здійсню-

ється безупинно залежно від режимів роботи двигуна. Система Valvetronic установлюється тільки на впускні клапани.

Перспективними конструкціями ГРМ є механізми без розподільного вала, у яких клапани управляються індивідуальними пристроями за допомогою електромагнітних соленоїдів.

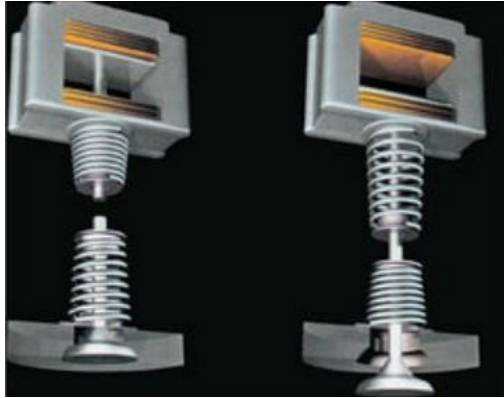


Рисунок 6.14 - Електромагнітні соленоїди ГРМ

Використання такої техніки дає можливість індивідуального контролю над роботою кожного клапана. При цьому можна не тільки оптимально управляти часом відкриття кожного клапана й забезпечувати одержання максимальних потужності або крутного моменту, але й відключати деякі циліндри повністю або переводити їх на мале навантаження для більш ефективної роботи інших циліндрів.

Можна переводити двигун у режим компресора, розвантажуючи, таким чином, гальма, і, можливо, запасаючи частину енергії у випадку спуску вантажного автомобіля (важкого автопоїзда) з косягору (процес рекуперації). Але головна перевага цієї системи полягає в тому, що час і ступінь відкриття клапанів, у будь-який момент часу, можуть бути оптимальними для роботи двигуна за даних умов руху.

Сьогодні вже створені і випробувані такі експериментальні системи з гарною ефективністю дії (зменшена витрата палива до 20 %). Крім того, конструкція самого двигуна може бути спрощена, тому що звичайний привод ГРМ - ланцюги, зубчасті ремені, механізми натягу, шестірні й кулачкові вали - стають непотрібними.

Перешкодою на шляху до широкого застосування таких "безку-

лачкових" клапанних механізмів - є велике споживання електроенергії й більші габарити приводних пристроїв, одержувані при існуючому 12-вольтовому електроустаткуванні. Ці проблеми значно зменшуються у випадку підвищення робочої напруги на борту автомобіля в кілька разів.

Питання для самоперевірки

1. Розкажіть принцип роботи сучасного бензинового двигуна?
2. Які основні напрямки вдосконалювання бензинових двигунів?
3. Які системи використовуються на сучасних бензинових двигунах?
4. Що таке фази газорозподілу двигуна? Намалюйте приклади кругових діаграм фаз газорозподілу чотиритактного бензинового ДВЗ та поясніть їх.
5. Ким і коли було вперше застосовано систему безпосереднього упорскування палива на автомобільних бензинових двигунах серійного виробництва?
6. Поясніть принцип роботи системи упорскування Motronic MED7.
7. Яку функцію виконує регулятор тиску палива?
8. Назвіть види сумішоутворення при безпосередньому упорскуванні палива та поясніть їхні відмінності.
9. Розкажіть конструктивні особливості двигуна TSI (Turbo Stratified Injection).
10. Поясніть принцип роботи подвійного наддування двигуна TSI.
11. Для чого необхідне охолодження наддувочного повітря?
12. Які види нагнітачів повітря у двигунах ви можете назвати? Які їх конструктивні переваги й недоліки?
13. Поясніть принцип дії та конструктивні особливості інтеркулера.
14. З якою метою використовується двоконтурна система охолодження двигуна? Які її конструктивні особливості?
15. Поясніть призначення системи упорскування води у двигун. Які переваги й недоліки цієї системи?
16. Для чого використовують системи зміни геометрії впускного колектора?
17. Як працює впускний колектор змінної довжини?
18. Розкажіть про конструктивні особливості впускного колектора змінного перетину.
19. Розкажіть про системи зміни фаз газорозподілу двигуна: типи систем, особливості конструкції, переваги й недоліки різних систем.

ЛЕКЦІЯ № 7. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВЗ

План лекції. Сумішоутворення. Запалення робочої суміші. Елементи конструкції двигуна. Система Common Rail.

Література: [1], с. 71-77; [2], с. 66-80; [6], с. 77-78, 143-182; [9]; [10]; [11]; [12]; [13].

Завдяки високій ефективності дизельний двигун широко застосовується на вантажних автомобілях. Разом з тим, більшість легкових автомобілів мають у лінійці своїх моторів дизельні двигуни. У Європі до останнього часу (дизельгейт), дизельні двигуни поступово витісняли бензинові. Так ще зовсім недавно понад 50% нових легкових автомобілів там мали дизельні двигуни.

На легкових автомобілях використовуються швидкохідні дизелі, які мають високу еластичність, тобто здатність розвивати номінальний крутний момент у широкому діапазоні частот обертання колінчатого вала.

Принцип роботи дизельного двигуна заснований на мимовільному (компресійному) запаленні дизельного палива, що впорскується в камеру згоряння й змішується зі стислим і нагрітим до високої температури повітрям. На відміну від бензинового двигуна процес роботи дизеля не залежить від коефіцієнта надлишку повітря, а визначається гетерогенністю (неоднорідністю) паливно-повітряної суміші.

Дизельний двигун має ряд відмінних рис:

- має більшу ступінь стиску і як наслідок більш високий коефіцієнт корисної дії, більшу вагу й габарити, низькі витрати палива;
- має низькі оберти колінчатого вала і як наслідок меншу питому потужність, супроводжувані неповним згорянням палива, сажеутворенням;
- не має дросельної заслінки, тому розвиває високий крутний момент на низьких обертах;
- має складну конструкцію паливної апаратури і як наслідок високу чутливість до якості палива.

Основними напрямками вдосконалювання дизельних двигунів є зниження витрати палива, токсичності відпрацьованих газів, рівня шуму, підвищення потужності двигуна, полегшення холодного запуску. Для реалізації цих вимог на сучасних дизельних двигунах застосовується ряд систем: Common Rail, впускна й випускна системи, рециркуляції відпрацьованих газів, турбонаддув, передпусковий підігрів.

Система упорскування Common Rail накопичує паливо в акумуляторі високого тиску (загальній паливній рейці – common rail) і упорскує його в циліндри двигуна електронно-керованими форсунками. Електроніка забезпечує упорскування строго визначених порцій палива, чим досягається висока економія, повне згоряння й підвищення потужності. При необхідності паливо може впорскуватися багаторазово протягом одного циклу.

Випускна система сучасного дизеля орієнтована на зниження у відпрацьованих газах сажі, незгорілих вуглеводнів і оксидів азоту. Для цього в системі встановлюється **сажевий фільтр**. Сажа, що накопичується у фільтрі, видаляється шляхом регенерації.

Система рециркуляції відпрацьованих газів, призначена для зниження вмісту у відпрацьованих газах оксиду азоту, для чого частина газів вертається у впускний колектор. Для підвищення ефективності роботи системи, відпрацьовані гази примусово охолоджуються в спеціальному охолоджувачі, включеному в систему охолодження двигуна.

Впускна система дизельного двигуна може бути обладнана впускними заслінками. Застосування заслінок утворює два канали усмоктування, забезпечує завихрення повітряного потоку й поліпшене сумішоутворення на всіх режимах. При запуску двигуна й роботі на низьких обертах заслінки закриті, при високій частоті обертання колінчатого вала й високому крутному моменті – відкриті. Закриття заслінок приводить до зниження у відпрацьованих газах оксиду вуглецю й незгорілих вуглеводнів.

Найбільш ефективною системою підвищення потужності дизельного двигуна є турбонаддув. Для створення оптимального тиску наддування на всіх режимах роботи двигуна в системі використовується **турбонагнітач зі змінюваною геометрією турбіни**.

Для полегшення запуску дизельного двигуна в холодний час застосовується система передпускового розігріву, що представляє собою електронно-керовані **свічі накаливання**, установлені у впускному ко-

лєкторі. Додатково на автомобіль може встановлюватися *підігрівник дизельного палива*.

Далі більш детально розглянемо конструктивні особливості перерахованих вище систем, які застосовуються на сучасних дизельних двигунах встановлюваних на серійних автомобілях.

Система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR – Exhaust Gas Recirculation) призначена для зниження кількості у відпрацьованих газах оксидів азоту, за рахунок повернення частини газів у впускний колектор. Оксиди азоту утворюються у двигуні під дією високої температури. Чим вище температура в камерах згоряння двигуна, тим більше утворюється оксидів азоту.

Повернення частини відпрацьованих газів у впускний колектор дозволяє знизити температуру згоряння паливно-повітряної суміші, і тим самим, зменшити утвір оксидів азоту. При цьому співвідношення компонентів у паливно-повітряній суміші залишається незмінним, а характеристики потужності двигуна змінюються незначно. Система рециркуляції відпрацьованих газів застосовується як на дизельних, так і на бензинових двигунах. На бензинових двигунах внутрішнього згоряння, обладнаних турбонаддувом, система рециркуляції відпрацьованих газів не застосовується.

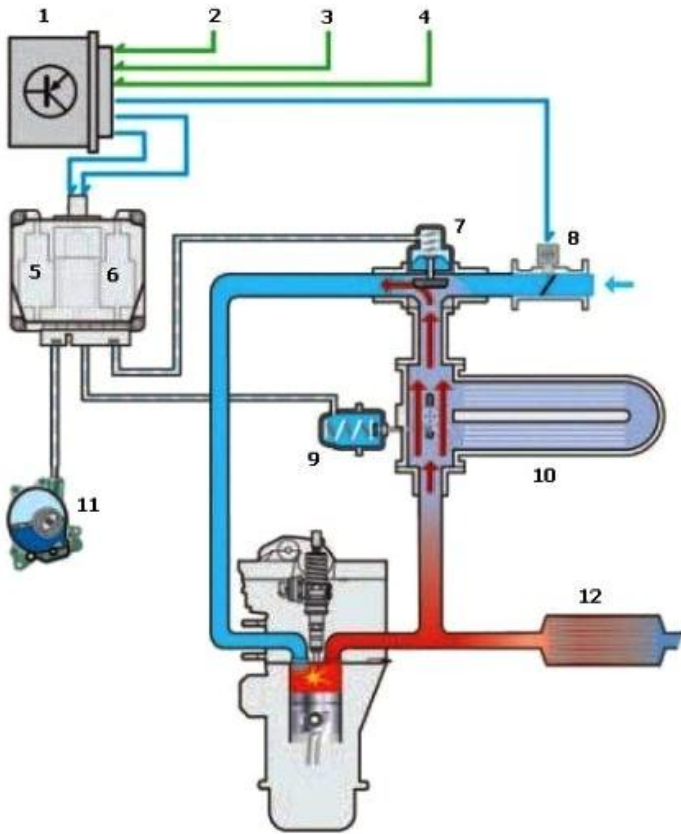
Залежно від стандарту токсичності відпрацьованих газів на дизельних двигунах внутрішнього згоряння застосовуються різні схеми системи рециркуляції відпрацьованих газів: високого тиску, низького тиску й комбінована система рециркуляції.

Система рециркуляції відпрацьованих газів високого тиску застосовується на дизельних двигунах, що відповідають вимогам Євро 4 (вміст оксиду азоту у відпрацьованих газах не більше 0,25 г/км). Система забезпечує відвід частини відпрацьованих газів безпосередньо з випускного колектора перед турбокомпресором і подачу в канал перед впускним колектором.

Конструктивно система поєднує клапан рециркуляції й патрубки відводу відпрацьованих газів. Клапан рециркуляції здійснює перепускання відпрацьованих газів з випускної системи у впускний колектор. Клапан має пневматичний або електричний привод.

Робота пневматичного клапана заснована на розрядженні, що виникає у впускному колекторі (бензинові двигуни), або створюваного вакуумним насосом (дизельні двигуни). Величину розрядження, що

подається на клапан рециркуляції, регулює керуючий електромагнітний клапан.



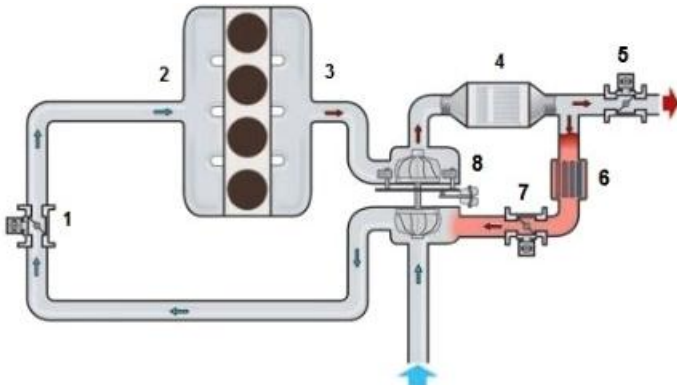
- 1 - блок управління двигуном, 2 - сигнал датчика частоти обертання колінчатого вала, 3 - сигнал датчика масової витрати повітря, 4 - сигнал датчика температури охолодної рідини, 5 - електромагнітний клапан керування рециркуляцією, 6 - електромагнітний клапан керування заслінкою охолоджувача, 7 - клапан рециркуляції відпрацьованих газів, 8 - електропривод впускної заслінки, 9 - вакуумний привод заслінки охолоджувача, 10 - охолоджувач відпрацьованих газів що перепускаються, 11 - вакуумний насос, 12 - каталітичний нейтралізатор

Рисунок 7.1 - Схема системи рециркуляції відпрацьованих газів високого тиску

Інтенсивність рециркуляції відпрацьованих газів залежить від різниці тисків у впускній і випускній системах. Величина тиску у впускній системі регулюється за допомогою дросельної заслінки. При закритті дросельної заслінки зменшується тиск на впуску, й відповідно підвищується інтенсивність рециркуляції. Разом з тим, з ростом обсягу рециркуляції зменшується потік відпрацьованих газів, що проходять через турбіну компресора, і це знижує тиск наддування.

Система рециркуляції відпрацьованих газів не працює на холостому ходу, при холодному двигуні, а також при повністю відкритій дросельній заслінці.

Рециркуляція відпрацьованих газів проводиться під контролем системи управління двигуном. По сигналу блоку управління переміщається дросельна заслінка, й спрацьовує клапан рециркуляції. Положення дросельної заслінки контролюється потенціометричним датчиком. На окремих двигунах у системі рециркуляції відпрацьованих газів застосовується охолодження відпрацьованих газів яке додатково знижує температуру згоряння й, тим самим, зменшує утворення оксидів азоту. Охолодження проводиться шляхом проходження охолодної рідини через спеціальний радіатор, включений у систему охолодження двигуна. Для захисту від перегріву в систему охолодження включений і корпус клапана рециркуляції.

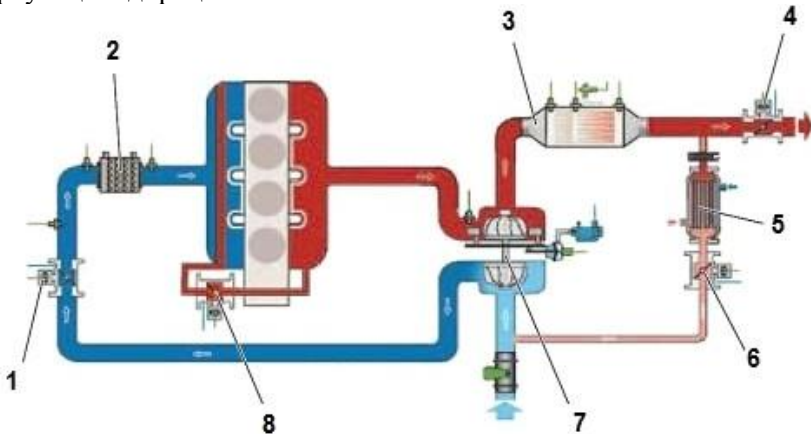


- 1 - дросельна заслінка, 2 - впускний колектор, 3 - випускний колектор,
4 - сажевий фільтр, 5 - випускна заслінка, 6 - радіатор системи
рециркуляції, 7 - заслінка рециркуляції, 8 - турбонагнітач

Рисунок 7.2 - Схема системи рециркуляції відпрацьованих газів
низького тиску

На дизельних двигунах, що відповідають нормам Євро 5 (вміст оксиду азоту у відпрацьованих газах становить не більше 0,18 г/км), застосовується система рециркуляції відпрацьованих газів низького тиску. У такій системі відпрацьовані гази, відводяться після сажевого фільтра, охолоджуються в радіаторі системи рециркуляції, проходять через клапан (заслінку) рециркуляції й подаються у впускну систему безпосередньо перед турбокомпресором.

Система низького тиску забезпечує меншу температуру відпрацьованих газів відсутність часток сажі й, в остаточному підсумку, менший вміст оксидів азоту у вихлопі. Крім цього, всі відпрацьовані гази проходять через турбіну компресора, тому тиск наддування не знижується. Регулювання інтенсивності рециркуляції відпрацьованих газів здійснює система управління двигуном за допомогою дросельної заслінки, заслінки рециркуляції й випускної заслінки. Заслінки мають електричний привід. Величина відкриття кожної із заслінок фіксується потенціометричними датчиками. Ступінь відкриття заслінок визначається на підставі закладеної в блок управління цифрової моделі, яка враховує наповнення циліндрів, тиск наддування й інтенсивність рециркуляції відпрацьованих газів.



- 1 - дросельна заслінка, 2 - охолоджувач наддувочного повітря,
3 - сажевий фільтр, 4 - випускна заслінка, 5 - радіатор
системи рециркуляції, 6 - заслінка рециркуляції низького
тиску, 7 - турбоагнітач, 8 - заслінка рециркуляції високого тиску

Рисунок 7.3 - Схема комбінованої системи
рециркуляції відпрацьованих газів

На дизельних двигунах, що відповідають вимогам стандарту Євро 6 (вміст оксиду азоту у відпрацьованих газах, не більше 0,08 г/км) застосовується комбінована система рециркуляції відпрацьованих газів. Система має дві окремі магістралі рециркуляції відпрацьованих газів – високого й низького тиску.

Рециркуляція відпрацьованих газів здійснюється аналогічно рециркуляції на двигунах Євро 5. Крім того в певних режимах роботи двигуна відбувається додаткова подача відпрацьованих газів з магістралі високого тиску, а це ще більше зменшує вміст оксидів азоту. Магістраль високого тиску не має охолоджувача відпрацьованих газів.

Сажевий фільтр.

На легкових автомобілях з дизельним двигуном, з 2000 року у складі випускної системи застосовується сажевий фільтр. Із введенням норм Євро-5 у січні 2011 року застосування сажевого фільтра на легкових автомобілях з дизельним двигуном стало обов'язковим.

Дизельний сажевий фільтр (в англійському варіанті Diesel Particulate Filter, DPF, у французькому варіанті Filtre a Particules, FAP, у німецькому варіанті Rubpartikelfilter, RPF) призначений для зниження викиду сажевих часток в атмосферу з відпрацьованими газами. Застосування фільтра дозволяє добитися зниження часток сажі у відпрацьованих газах до 99,9 %.

У дизельному двигуні сажа утворюється при неповному згорянні палива. Частки сажі мають розмір від 10 Нм до 1 мкм. Кожна частка складається з вуглецевого ядра, з яким з'єднані вуглеводні, оксиди металів, сірка й вода. Конкретний состав сажі визначається режимом роботи двигуна й составом палива.

У випускній системі сажевий фільтр розташовується за каталітичним нейтралізатором. У ряді конструкцій сажевий фільтр об'єднаний з каталітичним нейтралізатором окисного типу й розташовується відразу за випускним колектором там, де температура відпрацьованих газів максимальна. Він називається сажевий фільтр із каталітичним покриттям.

Основним конструктивним елементом сажевого фільтра є матриця, яка виготовляється з кераміки (карбіду кремнію). Матриця поміщена в металевий корпус. Керамічна матриця має ніздрювату структуру, утворену з каналів малого перетину, попеременно закритих з однієї та з іншої сторони. Бічні стінки каналів мають пористу структуру

й відіграють роль фільтра. У перетині гнізда матриці мають квадратну форму. Більш досконалі є вхідні гнізда восьмикутної форми. Вони мають більшу площу поверхні (у порівнянні з вихідними гніздами), пропускають більше відпрацьованих газів і забезпечують більший термін служби сажевого фільтра.

У роботі сажевого фільтра є два послідовні етапи: фільтрація й регенерація сажі. При фільтрації відбувається захват часток сажі й осідання їх на стінках фільтра. Найбільшу складність для затримки представляють частки сажі малого розміру (від 0,1 до 1 мкм). Їхня частка невелика (до 5%), але це самі небезпечні для людини викиди.

Сучасні сажеві фільтри затримують і ці частки. Частки сажі що скопилися при фільтрації, створюють перешкода для відпрацьованих газів і це приводить до зниження потужності двигуна. Тому періодично потрібне очищення фільтра від накопиченої сажі, або регенерація. Розрізняють пасивну й активну регенерацію сажевого фільтра. У сучасних фільтрах використовується, як правило, пасивна й активна регенерація.

Пасивна регенерація сажевого фільтра здійснюється за рахунок високої температури відпрацьованих газів (порядку 600°C), яка досягається при роботі двигуна з максимальним навантаженням. Іншим способом пасивної регенерації є додавання в паливо спеціальних присадок, які забезпечують згоряння сажі при більш низькій температурі (450-500°C). При певних режимах роботи двигуна (невелике навантаження, рух у місті та ін.), спостерігається недостатньо висока температура відпрацьованих газів і пасивна регенерація відбуватися не може. У цьому випадку здійснюється активна (примусова) регенерація сажевого фільтра.

Активна регенерація сажевого фільтра проводиться шляхом примусового підвищення температури відпрацьованих газів протягом певного проміжку часу. Накопичена при цьому сажа окиснюється (згоряє). Розрізняють кілька способів збільшення температури відпрацьованих газів при активній регенерації:

- пізнє упорскування палива;
- додаткове упорскування палива на такті випуску;
- використання електричного нагрівача перед сажевим фільтром;
- упорскування порції палива безпосередньо перед сажевим фільтром;

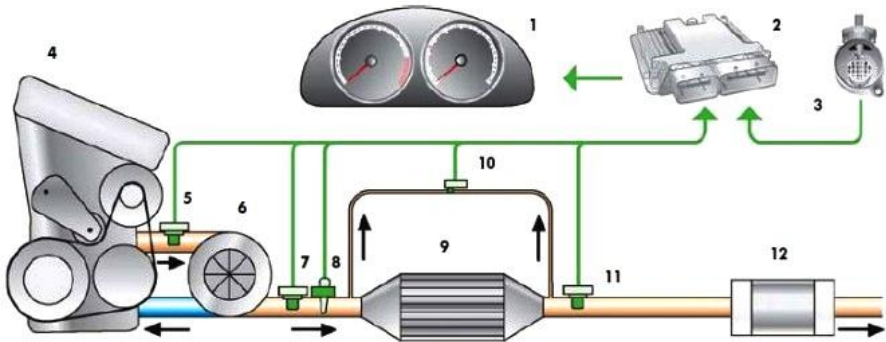
- нагрівання відпрацьованих газів мікрохвилями.

Конструкція сажевого фільтра й систем, що забезпечують його роботу, постійно удосконалюється. У цей час найбільш затребуваний сажевий фільтр із каталітичним покриттям і сажевий фільтр із системою введення присадок у паливо.

Сажевий фільтр із каталітичним покриттям застосовується на автомобілях концерну Volkswagen і ряду інших виробників. У роботі сажевого фільтра з каталітичним покриттям розрізняють активну й пасивну регенерацію.

При пасивній регенерації відбувається безперервне окиснення сажі за рахунок дії каталізатора (платини) і високої температури відпрацьованих газів (350-500°C). Ланцюжок хімічних перетворень при пасивній регенерації має такий вигляд:

- оксиди азоту вступають у реакцію з киснем у присутності каталізатора з утвором діоксиду азоту;
- діоксид азоту вступає в реакцію із частками сажі (вуглецем) з утвором оксиду азоту й вугарного газу;
- оксид азоту й вугарний газ вступають у реакцію з киснем з утвором діоксиду азоту й вуглекислого газу.



- 1 - приладова панель, 2 - блок управління двигуном, 3 - витратомір повітря, 4 - дизельний двигун, 5 - датчик температури відпрацьованих газів перед турбокомпресором, 6 - турбокомпресор, 7 - датчик температури відпрацьованих газів перед сажевим фільтром, 8 - кисневий датчик, 9 - сажевий фільтр, 10 - датчик перепаду тиску в сажевому фільтрі, 11 - датчик температури відпрацьованих газів після сажевого фільтра, 12 - глушитель

Рисунок 7.4 - Схема сажевого фільтра з каталітичним покриттям

Активна регенерація відбувається при температурі 600-650°C, яка створюється за допомогою системи керування дизелем. Необхідність активної регенерації визначається на підставі оцінки пропускну здатності сажевого фільтра, яка здійснюється за допомогою наступних датчиків системи керування дизелем: витратоміра повітря; температури відпрацьованих газів до сажевого фільтра; температури відпрацьованих газів після сажевого фільтра; перепаду тиску в сажевому фільтрі.

На підставі електричних сигналів датчиків електронний блок управління робить додаткове упорскування палива в камеру згоряння, а також знижує подачу повітря у двигун і припиняє рециркуляцію відпрацьованих газів. При цьому температура відпрацьованих газів піднімається до величини, необхідної для початку процесу рециркуляції.

Сажевий фільтр із системою введення присадки в паливо є розробкою концерну PSA (Peugeot-Citroen). Оскільки першопрохідниками використання присадки для регенерації є французи, то за фільтром закріпилася назва Фар-Фільтр (від французького *Filtre a Particules*). Аналогічний підхід реалізований у сажевих фільтрах інших автовиробників (Ford, Toyota).

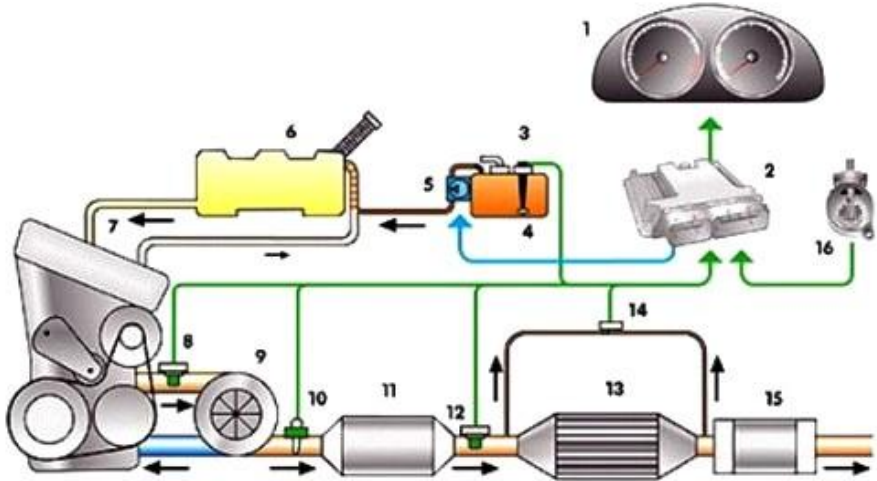
У системі використовується утримуюча церій присадка, яка додається в паливо й забезпечує спалювання сажі при більш низькій температурі (450-500°C). Але й ця температура відпрацьованих газів не завжди може бути досягнута, тому в системі періодично виконується активна регенерація сажевого фільтра. Сажевий фільтр установлюється, як правило, окремо за каталітичним нейтралізатором.

Присадка зберігається в окремому бачку, ємністю 3-5 л, якої вистачає на 80-120 тис. км пробігу (термін служби фільтра). Конструктивно бачок може перебувати в паливному баку або поза ним. Рівень присадки в бачку контролюється за допомогою датчика поплавкового типу. У паливний бак присадка подається за допомогою електричного насоса. Початок і тривалість подачі присадки регулюється блоком управління двигуном (у деяких конструкціях окремим електронним блоком).

Побічним ефектом застосування присадки є те, що при згорянні вона осідає у вигляді золи на стінки фільтра й не виводиться з нього, а це скорочує ресурс пристрою. Термін служби сучасного сажевого фільтра становить 120 000 км пробігу. Виробники декларують випуск

найближчим часом фільтра з ресурсом більше 250 000 км.

Через високу вартість, сажеві фільтри які виробили ресурс, автовласниками, як правило, не замінюються, а видаляються з наступним перепрошиванням системи управління двигуном.



- 1 - приладова панель, 2 - блок керування двигуном, 3 - бачок для зберігання присадки, 4 - датчик рівня присадки в бачку, 5 - електричний насос, 6 - паливний бак, 7 - дизельний двигун, 8 - датчик температури відпрацьованих газів перед турбокомпресором, 9 - турбокомпресор, 10 - кисневий датчик, 11 - каталітичний нейтралізатор, 12 - датчик температури відпрацьованих газів перед сажевим фільтром, 13 - сажевий фільтр, 14 - датчик перепаду тиску в сажевому фільтрі, 15 - глушитель, 16 - витратомір повітря

Рисунок 7.5 - Схема сажевого фільтра із системою введення присадки у паливо

Турбонаддув двигуна TDI.

Двигун **TDI (Turbocharged Direct Injection)**, дослівно - турбонагнітач і безпосереднє упорскування) є сучасним дизельним двигуном з турбонаддувом. Двигун розроблений концерном Volkswagen, а назва TDI є зареєстрованим товарним знаком.

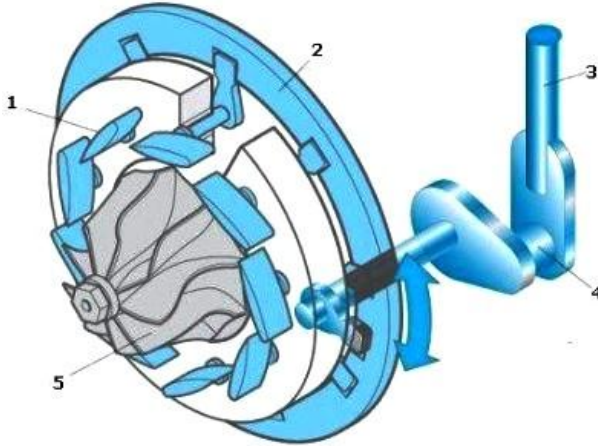
Турбонаддув двигуна TDI забезпечує високу динаміку автомобіля, економічність і екологічну безпеку. Для створення оптимального тиску наддування в широкому діапазоні швидкісних режимів у конс-

трукції двигуна використовується турбокомпресор зі змінюваною геометрією турбіни. Турбокомпресор має дві загальноприйняті назви, які використовуються різними виробниками:

- **VGT, Variable Geometry Turbocharger** (дослівно – турбокомпресор зі змінюваною геометрією) застосовує Borgwarner;
- **VNT, Variable Nozzle Turbine** (дослівно – турбіна зі змінним соплом) застосовує Garrett.

ня турбіни й відповідно продуктивність компресора.

VNT-турбіна поєднує напрямні лопатки, механізм керування й вакуумний привод. Напрямні лопатки призначені для зміни швидкості й напрямку потоку відпрацьованих газів, за рахунок зміни величини перетину каналу. Вони повертаються на певний кут навколо своєї осі.



1 - напрямні лопатки, 2 - кільце, 3 - важіль,
4 - тяга вакуумного привода, 5 - турбінне колесо

Рисунок 7.7 - Схема турбіни зі змінюваною геометрією (VNT-турбіни)

Поворот лопаток проводиться за допомогою механізму керування. Механізм складається з кільця й важеля. Спрацьовування механізму керування забезпечує вакуумний привод, що впливає через тягу на важіль керування. Робота вакуумного привода регулюється клапаном обмеження тиску наддування, підключеним до системи управління двигуном. Клапан обмеження тиску наддування спрацьовує залежно від величини тиску наддування, вимірюваної двома датчиками: датчиком тиску наддування й датчиком температури повітря на впуску.

Принцип роботи наддуву двигуна TDI.

При роботі системи наддування двигуна TDI забезпечується оптимальний тиск повітря в широкому діапазоні частоти обертання двигуна. Це досягається за рахунок регулювання енергії потоку відпрацьованих газів.

При низьких обертах двигуна енергія відпрацьованих газів невелика. Для ефективного її використання напрямні лопатки перебувають у закритому положенні, при якому площа каналу відпрацьованих газів найменша. За рахунок малої площі перетину потік відпрацьованих газів підсилюється й змушує турбіну обертатися швидше. Відповідно швидше обертається компресорне колесо, а продуктивність турбокомпресора збільшується.

При різкому збільшенні обертів двигуна, внаслідок інерційності системи, енергії відпрацьованих газів стає недостатньо. Тому для проходження "турбоями" лопатки повертаються з деякою затримкою, чим досягається оптимальний тиск наддування.

На високих обертах двигуна енергія відпрацьованих газів максимальна. Для запобігання надлишкового тиску наддування лопатки повертаються на максимальний кут, забезпечуючи найбільшу площу поперечного перерізу каналу.

Питання для самоперевірки

1. Який принцип роботи дизельного двигуна?
2. Чим визначається процес роботи дизеля?
3. Назвіть відмінні риси дизельного двигуна.
4. Які основні напрямки вдосконалювання дизельних двигунів Ви можете назвати?
5. В чому полягають конструктивні особливості системи упорскування палива Common Rail?
6. Яке призначення сажевого фільтра?
7. Які конструктивні особливості системи впуску сучасного дизельного двигуна?
8. Для чого призначені свічі накалювання?
9. Навіщо потрібен підігрівач дизельного палива?
10. Як працює система рециркуляції відпрацьованих газів дизеля?
11. Які є способи збільшення температури відпрацьованих газів при активній регенерації?
12. Що таке пасивна регенерація відпрацьованих газів?
13. Як працює система введення присадки в дизельне паливо?
14. Як працює турбонаддув двигуна TDI?
15. Поясніть принцип роботи VNT-турбіни.
16. В чому суть метода селективної каталітичної нейтралізації вихлопу з використанням рідких реагентів (AdBlue, DEF, AUS 32)?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови : навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич та ін. К. : НТУ, 2015. 244 с.
2. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є. Автомобільні двигуни: Підручник. К. : Арістей, 2006. 476 с.
3. Загальний курс транспорту: Підручник / М. Ф. Дмитриченко, І. І. Кельман, Є. К. Вільковський, З. І. Пеклич, О. І. Мельниченко Львів, 2011. 524 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания : Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. М. : Машиностроение, 1984. 384 с.
5. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей. Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. М. : Машиностроение, 1985. 276 с.

Додаткова

6. Гроз Х., Русс Г. Бензиновые и дизельные двигатели. М. : "Издательство "За рулем", 2013. 272 с.
7. Курасов В. С. Теория двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие. Краснодар, КубГАУ. 2013. 86 с.
8. Кузнецов А. С. Устройство и работа двигателя внутреннего сгорания: учеб. пособие. М. : Издательский центр "Академия", 2011. 80 с.
9. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. М. : "За рулем", 2004. 480 с.
10. Системы управления и основы диагностики дизельных двигателей : учебное руководство. Германия : Mazda Motor Europe GmbH., 2010. 263 с.
11. Корнилов Э. В., Фока А. А., Бойко П. В. Судовые главные двигатели с электронным управлением. Одесса, Экспресс-Реклама, 2010. 224 с.
12. Возницкий И. В. Судовые Двигатели внутреннего сгорания : в 2 т. М. Моркнига, 2008. Т 1. 282 с.

13. Возницкий И. В. Судовые Двигатели внутреннего сгорания : в 2 т. М. Моркнига, 2008. Т 2. 470 с.
14. Автомобильные двигатели. Курсовое проектирование: учеб. пособие / М. Г. Шатров, И. В. Алексеев, С. Н. Богданов и др. ; под ред. М. Г. Шатрова. М. : Издательский центр "Академия", 2011. 256 с.
15. Тер-Мкртчян Г. Г. Двигатели внутреннего сгорания с нетрадиционными рабочими циклами М. : МАДИ, 2015. 80 с.
16. Пушкарева О. Б. Энергетические установки автомобилей и тракторов. Екатеринбург : ФГБОУ ВПО "Уральский государственный лесотехнический университет", 2015. 48 с.
17. Мищенко А. И. Применение водорода для автомобильных двигателей. К. : Наукова думка, 1984. 143 с.
18. Копытов В. Газификация конденсированных топлив: ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития. М. : Litres, 2017. 504 с.
19. Тер-Мкртчян Г. Г. Управление движением поршней в двигателях внутреннего сгорания. М. : Metallurgizdat, 2011. 304 с.
20. Кей Энтони Л. История разработки и создания реактивных двигателей и газовых турбин в Германии (1930-1945). Рыбинск : НПО Сатурн, 2006. 329 с.
21. Газотурбинные энергетические установки : учебное пособие для вузов / С. В. Цанев и др. ; под ред. С. В. Цанева. М. : Издательский дом МЭИ, 2011. 428 с.
22. Вертолетные газотурбинные двигатели / В. А. Григорьев, В. А. Зрелов, Ю. М. Игнаткин и др.; под общ. ред. В. А. Григорьева и Б. А. Пономарева. М. : Машиностроение, 2007. 491 с.
23. Автомобильные двигатели : учебник для студ. высш. учеб. заведений / М. Г. Шатров, К.А. Морозов, И. В.Алексеев и др. ; под ред. М.Г.Шатрова. М. : Издательский центр "Академия", 2011. 464 с.
24. Тер-Мкртчян Г. Г., Кутенев В. Ф., Яманин А. И. Вопросы теории двигателей с управляемым движением поршней с плоскими преобразующими механизмами. М. : НАМИ, 2004. 240 с.
25. Машиностроение. Энциклопедия. М. : Машиностроение, 2013. Т. IV-14 : Двигатели внутреннего сгорания / под ред. А. А. Александрова и Н.А. Иващенко. 784 с.
26. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга. М. : Мир, 1986. 464 с.
27. Уокер Г. Двигатели Стирлинга М. : Машиностроение, 1985. 408 с.
28. Трухов В. С., Турсунбаев И. А., Умаров С.Я. Расчет параметров

внутреннего теплообменного контура двигателя Стирлинга. Ташкент : Фан, 1979. 80 с.

29. Мышинский З. Л., Рыжков-Дудонов М. А. Судовые поршневые двигатели внешнего сгорания (двигатели Стирлинга). Л. : Судостроение, 1976. 76 с.

Інформаційні ресурси

30. A Compelling Alternative to the conventional Internal Combustion Engine URL: <http://www.scuderigroup.com/our-patents/> (дата звернення: 12.04.2019)
31. Platform for Complete Combustion <http://www.zajacmotors.com/technology.phtml> (дата звернення: 12.04.2019)
32. Tour Engine Technology URL: <http://www.touengine.com/technology> (дата звернення: 12.04.2019)
33. Alternative Motorentechnik bei Verbrennungsmotoren URL: <http://www.mein-werkstattwagen.de/wissen/alternative-motorentechnik-bei-verbrennungsmotoren/> (дата звернення: 12.04.2019)
34. Six-stroke engine high level of efficiency URL: <http://bajulazsa.com/Site/sixstroke.html> (дата звернення: 12.04.2019)