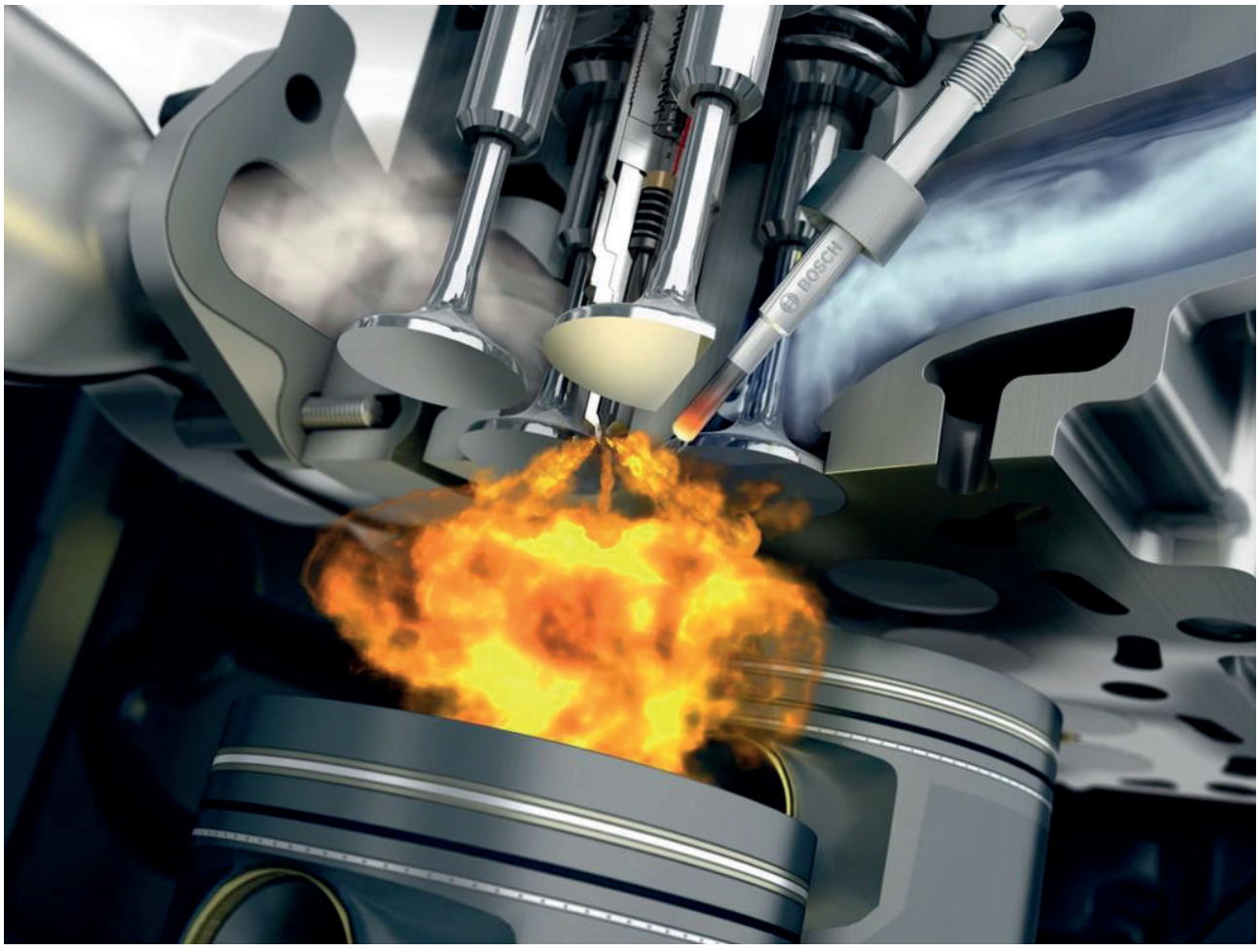
Міністерство освіти і науки України
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Кафедра машинознавства та основ технологій

Юрій СКВАРОК, Роман ЧУБИК

ПАЛИВНА АПАРАТУРА ДВИГУНІВ

Лабораторні роботи



Дрогобич 2015

УДК 629.063.6(075)
ББК 39.35я73
С 42

Рекомендовано до друку вченою радою Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка
(протокол № від травня 2015 р.)

Скварок Ю.Ю., Чубик Р.В. Паливна апаратура двигунів: лабораторні роботи [для студентів вищих навчальних закладів та учнів професійно-технічних училищ]. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка**,** 2015. – 81 с.

У посібнику розглянуто принцип роботи й особливості конструкції систем впорскування бензину та паливних систем дизелів з електронним керуванням.

Призначений для студентів вищих навчальних закладів та учнів професійно-технічних училищ, які навчаються за спеціальностями автомобільного профілю.

Рецензенти:
Пелещак Роман Михайлович – доктор фіз-мат. наук, професор, завідувач кафедри загальної фізики Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка;
Лужецький Василь Степанович – кандидат технічних наук, доцент кафедри машинознавства та основ технологій Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка.

Відповідальний за випуск: Павловський Ю.В. – кандидат фіз-мат. наук, доцент кафедри машинознавства та основ технологій Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

© Ю.Ю. Скварок, Р.В. Чубик, 2015

ЗМІСТ

ВСТУП……..……4

Лабораторна робота № 1. Вивчення будови та принципу роботи системи живлення «K-JETRONIC»……..5

Лабораторна робота № 2. Вивчення будови та принципу роботи системи живлення «L-JETRONIC»…….20

Лабораторна робота № 3. Вивчення будови та принципу роботи систем живлення з безпосереднім впорскуванням бензину…….….27

Лабораторна робота № 4. Вивчення будови та роботи розподільних паливних насосів високого тиску з електронним керуванням……..……43

Лабораторна робота № 5. Вивчення будови та роботи насос-форсунок з електронним керуванням…….….53

Лабораторна робота № 6. Вивчення будови та роботи акумуляторної системи подачі палива COMMON RAIL……....62

Лабораторна робота № 7. Вивчення будови та роботи систем наддуву……...71

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….....81

Вступ

У другій половині 90-их років минулого століття провідні автомобільні фірми впровадили у виробництво нові зразки двигунів як бензинових, так і дизельних, оснащених паливними системами з електронним керуванням. Електронне керування дає змогу оптимізувати робочий процес на усіх режимах роботи і добитися зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами, зниження шумності та витрати палива, поліпшення пускових властивостей двигунів і динамічності транспортних засобів.

Посібник містить сім лабораторних робіт, у яких вивчаються конструктивні особливості та принцип роботи систем живлення сучасних двигунів. Роботи містять обширні теоретичні відомості та ілюстровані.

Призначений, насамперед, для студентів спеціальності “Професійна освіта (Транспорт)“ за профілем підготовки “Експлуатація та ремонт міського та автомобільного транспорту“ і має за мету ознайомити їх з новою автомобільною технікою.

Лабораторна робота № 1
ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ «K-JETRONIC»

Мета: вивчити будову та принцип функціонування системи постійного впорскування палива «K-Jetronic» з пневмомеханічним керуванням.

Обладнання: стенд і схема системи впорскування палива «K- Jetronic».

1. Питання для самопідготовки

1. Переваги систем живлення бензинових двигунів з впорскуванням палива.
2. Класифікація систем живлення з впорскуванням легкого палива.
3. Загальна будова системи живлення з впорскуванням легкого палива.

2. Теоретичні відомості

2.1. Принцип дії, головна дозувальна система й система холостого ходу

Паливний насос 4 (рис. 1) забирає паливо з бака 1 і подає його під тиском приблизно 0,5 МПа через акумулятор 3 та фільтр 2 до каналу А дозатора-розподільника 8. У разі звичайного карбюраторного живлення керування двигуном здійснюється натисканням на педаль “газу“, тобто повертанням дросельної заслінки, яка регулює кількість робочої суміші, що подається у циліндри, а в системі впорскування дросельна заслінка регулює тільки подачу чистого повітря. Для забезпечення потрібного співвідношення між кількістю повітря, що надходить, та кількістю впорскуваного палива, використовуються витратомір повітря з напірним диском 10 і дозатор-розподільник палива 8. Насправді витратомір не вимірює, буквально, витрату повітря, а просто його напірний диск переміщується “пропорційно“ витраті повітря. Назва “витратомір“ пояснюється тим, що в цьому пристрої використано принцип дії фізичного приладу, який називається трубкою Вентурі й застосовується для вимірювання витрати газів. **Витратомір повітря** системи впорскування палива є прецизійним механізмом. Його напірний диск дуже легкий (товщина — приблизно 1 мм, діаметр – 100 мм) і кріпиться до важеля, з іншого боку якого (рис. 1) встановлено балансир, що зрівноважує усю систему. Оскільки вісь обертання важеля лежить в опорах з мінімальним тертям (підшипники кочення), диск дуже “чутливо“ реагує на зміну витрати повітря.

На осі обертання важеля напірного диска 10 закріплено другий важіль з роликом. Останній упирається безпосередньо в нижній кінець плунжера дозатора-розподільника. Використання другого важеля з регулювальним гвинтом дає змогу змінювати відносне положення важелів, а отже, й

розташування напірного диска та упорного ролика (плунжера розподільника), тим самим регулюючи склад робочої суміші. Положення гвинта регулюється на заводі-виготовлювачі. На деяких автомобілях, наприклад BMW-520i, BMW-525i, BMW-528i, BMW-535i, цим гвинтом можна у разі потреби відрегулювати вміст CO у відпрацьованих газах (суміш збіднюється загвинчуванням гвинта).

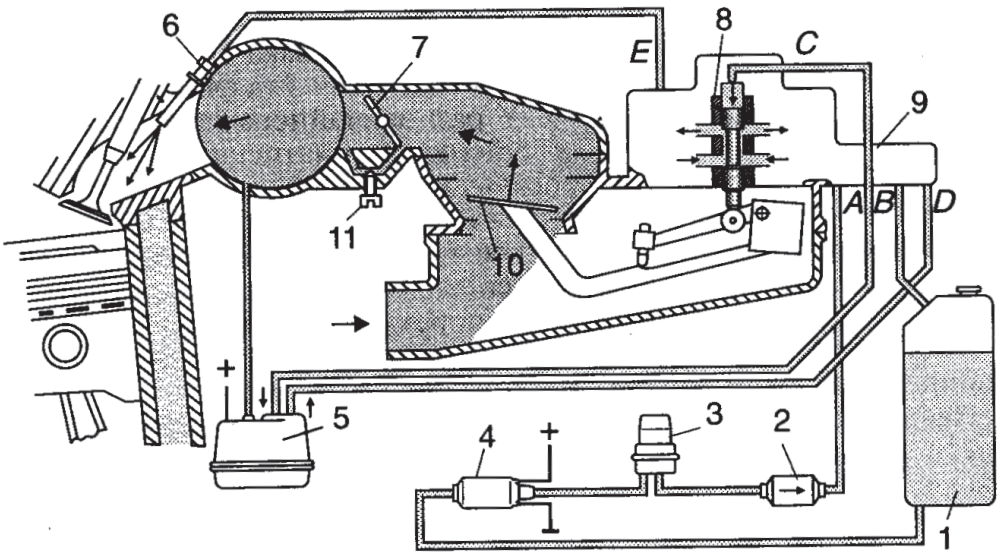


Рис. 1. Схема системи впорскування палива «К- Jetronic»:

1 – паливний бак; 2 – паливний фільтр; 3 – акумулятор палива; 4 – паливний насос; 5 – регулятор керуючого тиску; 6 – форсунка (інжектор); 7 – дросельна заслінка; 8 – дозатор-розподільник кількості палива; 9 – регулятор тиску живлення; 10 – напірний диск витратоміра повітря; 11 – регулювальний гвинт холостого ходу; A– E – паливні канали (A – підведення палива до дозатора-розподільника; B – зливання палива в бак; C – керуючого тиску; O – регулятора тиску живлення; E – підведення палива до робочих форсунок)

Механічна система витратомір повітря – дозатор-розподільник забезпечує тільки відповідність переміщень напірного диска та плунжера розподільника. Проте якщо трубка Вентурі забезпечує лінійну залежність переміщення напірного диска від витрати повітря, то найпростіший за формою плунжера розподільник такої залежності між переміщенням плунжера та витратою бензину вже не дає. Тому застосовано систему диференціальних клапанів.

Із дозатора-розподільника паливо каналами E подається до форсунок упорскування 6 (рис. 1). Переміщення напірного диска спричиняє переміщення плунжера розподільника (напрями переміщення на рис. 1 вказано стрілками). Взаємозв'язок переміщень і диференціальні канали забезпечують певне співвідношення повітря та бензину в робочій суміші. Для забезпечення відповідності складу робочої суміші режиму роботи двигуна в системі впорскування з боку верхньої частини плунжера (рис. 1) в розподільник каналом C підводиться керуючий тиск, який визначається регулятором 5 і

залежить від режиму роботи двигуна. У разі збільшення тиску опір переміщенню плунжера зростає – суміш збіднюється, а у разі зменшення, навпаки, опір переміщенню плунжера спадає – суміш збагачується.

Один із режимів роботи автомобільного двигуна – різке відкриття дросельної заслінки. У карбюраторних двигунах потрібне збагачення суміші здійснюється прискорювальним насосом (без насоса, оскільки повітря більш рухливе, відбувалося б збіднення її). У системах впорскування збагачення забезпечується майже миттєвою реакцією напірного диска. Робота бензинового електричного насоса 4 (рис. 1) не залежить від частоти обертання колінчастого вала двигуна. Насос умикається, якщо ввімкнено запалювання й обертається колінчастий вал. Оскільки насос має двократний запас за тиском і десятикратний — за подачею, у системі впорскування потрібен регулятор тиску живлення. Цей регулятор 9 (рис. 1) вбудовано в дозатор-розподільник і сполучено з каналом А (підведення палива); каналом В зливається зайве паливо в бак, а канал D сполучено з регулятором керуючого тиску 5.

Холостий хід карбюраторних двигунів регулюється двома гвинтами: кількості та якості суміші. Система живлення з упорскуванням палива також має два гвинти: гвинт якості (складу) робочої суміші, яким регулюється вміст СО у відпрацьованих газах, і гвинт кількості суміші 11, за допомогою якого встановлюється частота обертання колінчастого вала двигуна на холостому ході.

2.2. Система пуску

Після пуску двигуна електронасос 4 (рис. 2) практично миттєво створює тиск у системі. Якщо двигун прогрітий (до температури не менше ніж 35°С), то термореле 6 вимикає пускову форсунку 11 з електромагнітним керуванням. У момент пуску холодного двигуна та протягом певного часу пускова форсунка впорскує у впускний колектор додаткову кількість палива.

Тривалість роботи пускової форсунки визначає термореле, залежно від температури охолоджувальної рідини. Клапан 8 забезпечує підведення до двигуна додаткової кількості повітря для підвищення частоти обертання колінчастого вала холодного двигуна на холостому ході. Додаткове збагачення паливоповітряної суміші під час пуску й прогрівання холодного двигуна досягається шляхом вільнішого піднімання плунжера дозатора-розподільника завдяки тому, що регулятор керуючого тиску 5 знижує над плунжером протидіючий тиск повернення. Отже, якщо двигун уже прогріто, то живлення здійснюється тільки через головну дозувальну систему та систему холостого ходу (рис. 1). При цьому термореле 6 (рис. 2), пускова електромагнітна форсунка 11 і клапан додаткового повітря 8 не працюють. Під час пуску й

прогрівання холодного двигуна всі зазначені елементи системи впорскування починають працювати, забезпечуючи надійний пуск і стабільну роботу двигуна на холостому ході.

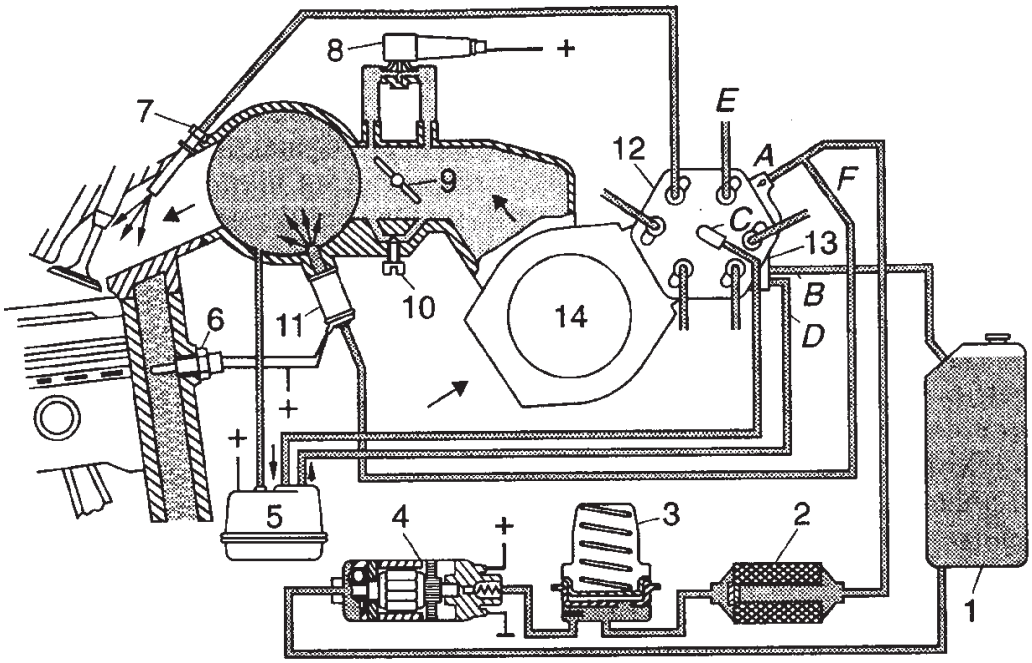


Рис. 2. Схема системи пуску:

1 – паливний бак; 2 – паливний фільтр; 3 – нагромаджувач палива; 4 – паливний електронасос; 5 – регулятор керуючого тиску; б – термореле; 7 – форсунка впорскування; 8 – клапан додаткового повітря; 9 – дросельна заслінка; 10 – регулювальний гвинт холостого ходу; 11 – пускова електромагнітна форсунка; 12 – дозатор-розподільник; 13 – регулятор тиску живлення; 14 – витратомір повітря; А – Р – паливні канали (А – Е – те саме, шо й на рис. 1.1; Р – підведення палива до пускової форсунки з електромагнітним керуванням)

2.3. Агрегати й вузли системи

Паливний електронасос 4 (рис. 2) – ротаційний роликовий одно- або багатосекційний. Від ротаційного лопатевого роликовий насос відрізняється тим, що замість лопатей у пази ротора встановлено ролики для заміни ковзання лопатей по статору коченням. Для бензонасоса це особливо важливо, оскільки бензин не має мастильної властивості.

На вході бензонасоса передбачено фільтрувальну сітку, що призначена для затримання порівняно великих сторонніх частинок.

Паливний насос розташовують як зовні бака, так і безпосередньо занурюють у бензин у баці. За зовнішньою формою насос нагадує котушку запалювання й становить об’єднання агрегату-електродвигуна постійного струму та власне насоса. Особливість цієї конструкції полягає у тому, що

бензин обмиває усі внутрішні деталі електродвигуна: якір, колектор, щітки, статор.

Насос має два клапани: запобіжний, що сполучає порожнини нагнітання й усмоктування, та зворотний, який перешкоджає зливанню палива із системи. Зворотний клапан і демпфірувальний дросель вбудовано в штуцер паливного насоса (рис. 3). Демпфер дещо згладжує різке зростання тиску в системі під час пуску паливного насоса (тиск знижується тільки до значення, за якого закриваються клапанні форсунки). Тиск, що розвивається насосом, або тиск у системі, становить приблизно 0,5 МПа; подача насосів за температури 20°С та напруги 12 В – 1,7 – 2 л/хв; робоча напруга – 7 – 15 В; максимальне значення сили струму – 4,7 – 9,5 А.

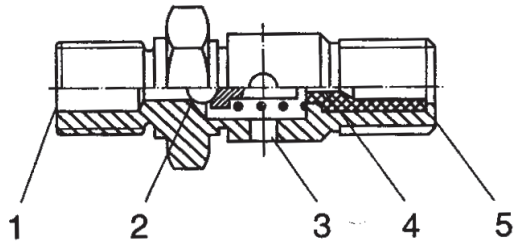


Рис. 3. Штуцер паливного насоса:

1 – підведення бензину від насоса до штуцера; 2 – зворотний клапан; 3 – подавання палива в систему (нагромаджувач, фільтр, канал А дозатора-розподільника); 4 – демпфірувальний дросель (демпфер); 5 – відведення в лінію зливання палива в бак

Акумулятор палива 3 (рис. 2) – це пружинний гідроакумулятор, призначений для підтримання тиску в системі, коли зупинено двигун і вимкнено бензонасос. Підтримання залишкового тиску запобігає утворенню у трубопроводах парових пробок, які ускладнюють пуск двигуна (особливо гарячого).

У системі акумулятор встановлюють за паливним насосом. Він має три порожнини: верхню, де розміщено пружину, середню – накопичувальну (об'ємом 20 – 40 $см^3$) та нижню з двома каналами (підвідним і відвідним) або з одним, що виконує обидві функції. Верхню й середню порожнини відокремлено гнучкою діафрагмою, а середню й нижню – перегородкою. Після вмикання паливного насоса середня порожнина крізь пластинчастий клапан у перегородці заповнюється паливом, при цьому діафрагма прогинається вгору до упора, стискаючи пружину. Оскільки бензин, як будь-яка рідина, практично не стискається, найменші витікання після зупинки двигуна (зворотний клапан у насосі, розподільник) призводять до різкого зменшення тиску в системі. Ось тут і починає працювати акумулятор. Пружина, діючи на діафрагму, виштовхує бензин із накопичувальної порожнини крізь дросельний отвір у перегородці. Коли робочий тиск у системі дорівнює 0,54 – 0,62 МПа, залишковий тиск через

10 хв після зупинки двигуна становитиме не менше ніж 0,34 МПа, а через 20 хв – 0,33 МПа. Відповідно, якщо робочий тиск у системі дорівнює 0,47 – 0,52 МПа, то через 10 хв залишковий тиск становитиме 0,18 – 0,26 МПа, а через 20 хв – 0,16 МПа.

Паливний фільтр 2 (рис. 2) розташовують за бензонасосом, тому останній не забезпечує захисту від сторонніх частинок у бензині. Об'єм цього фільтра у кілька разів перевищує об'єм застосовуваних фільтрів тонкої очистки бензину. Паливний фільтр подібний на оливний; за умови використання чистого бензину він розрахований на 50 тис км пробігу автомобіля.

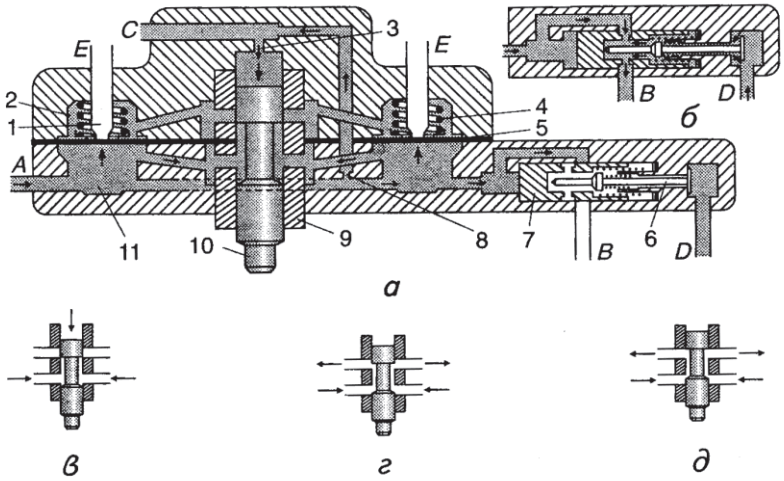


Рис. 4. Дозатор-розподільник із регулятором тиску живлення:
а – загальна схема (1 – трубка форсунки впорскування; 2, 11 – відповідно верхня й нижня камери диференціального клапана; 3 – демпфірувальний дросель; 4 — пружина клапана; 5 – діафрагма клапана; 6 – штовхальний клапан; 7– поршень регулятора тиску; 8 – дросель підживлення; 9 – гільза розподільника; 10 – плунжер розподільника); б – регулятор тиску, зливання палива в бак; в – д – положення плунжера відповідно в стані спокою, на холостому ході при часткових навантаженнях та при повному навантаженні; А – Е – паливні канали (рис. 1.1)

Крім цього фільтра та сітки в насосі, є ще сітки на гільзі розподільника 8, у штуцерах каналів Е (рис. 1.1). Видаленню сторонніх частинок із бензину сприяє також конфігурація каналів у дозаторі-розподільнику.

Дозатор-розподільник із регулятором тиску живлення (рис. 4) дозує й розподіляє паливо, що подається до нього каналом А, між форсунками (інжекторами) циліндрів (канали Е). Переміщення плунжера розподільника відбувається відповідно до переміщення напірного диска витратоміра повітря. Напірний диск, своєю чергою, переміщується відповідно до витрати повітря або відкривання дросельної заслінки.

Плунжер 10 переміщується у гільзі 9 з отворами. Ущільнень у цій парі не передбачено: герметичність забезпечується мінімальними зазорами, точністю форми та чистотою спряжених поверхонь деталей. Гільза вставляється у корпус

із більшим зазором, а ущільнення забезпечується гумовим кільцем, установленим у канавці 1 гільзи. На плунжер знизу діє важіль напірного диска, зверху – керуючий тиск.

Між розподільником і вихідними каналами Е розташовано диференціальні клапани, розділені гнучкою сталевою діафрагмою 5 на дві камери: верхню та нижню. Нижні камери диференціальних клапанів, що сполучаються кільцевим каналом, перебувають під робочим тиском. На діафрагму 5 знизу діє цей тиск, а зверху – пружина, що спирається одним кінцем у корпус, а іншим – у спеціальне сідло та діафрагму. Коли паливо надходить у верхню камеру (рис. 5), його тиск додається до зусилля пружини, і діафрагма прогинається вниз, збільшуючи прохідний переріз. Унаслідок цього тиск у верхній камері спадає, діафрагма трохи випрямляється й досягається динамічна рівновага. Постійний тиск палива у системі підтримується регулятором тиску живлення. У разі перевищення тиску поршень 7 (рис. 4), стискаючи пружину, перемішується праворуч і дає змогу лишку палива каналом В повернутися у бак. Коли двигун зупиняється, паливний насос вимикається. Тиск у системі швидко зменшується й стає нижчим від тиску відкриття клапана форсунки. Зливальний отвір закривається за допомогою підпружиненого поршня регулятора тиску живлення. У регулятор тиску живлення (рис. 6) вбудовано штовхальний клапан 3, який відкривається поршнем 1. Штовхальний клапан працює разом із регулятором керуючого тиску.

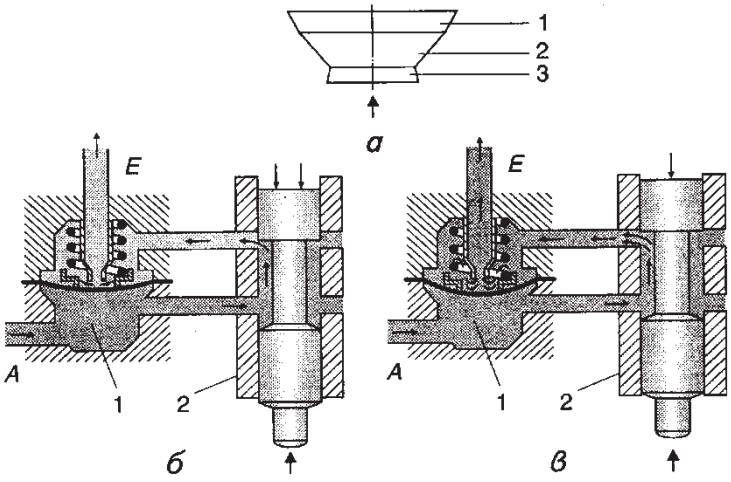


Рис. 5. Регулювання складу робочої суміш:

а – напрямний пристрій із зонами переміщення напірного диска (1 – максимальне навантаження; 2 – часткові навантаження; 3 – холостий хід); б – мала доза впорскування палива; в – велика доза (1 – диференціальний клапан; 2 – розподільник; А, Е – паливні канали (рис. 1.1)

Регулятор керуючого тиску працює переважно в режимах холодного пуску, прогрівання на холостому ході (рис. 7) і повного навантаження.

Регулятор має дві діафрагми: верхню 2 та нижню 4. У середній частині верхньої діафрагми 2 є клапан, що перекриває канал D, яким паливо через регулятор тиску живлення повертається у бак (рис. 4, б).

Регулятор керуючого тиску без нижньої діафрагми 4 (без підведення вакууму) та внутрішньої циліндричної пружини називається регулятором підігрівання й працює тільки в режимі прогрівання двигуна (рис. 7, а).

Пружина 3 прогинає верхню діафрагму 2 вниз, клапан відкривається й сполучає два канали. У міру прогрівання двигуна керуючий тиск збільшується (рис. 7, б), оскільки біметалева пружина 3 починає поступово вигинатися вгору, розвантажуючи циліндричні пружини й зменшуючи прогин діафрагми 2 вниз. При температурі 35 – 40°С пружина 3 повністю звільняє діафрагму й канал зливання D (рис. 8, а) закривається.

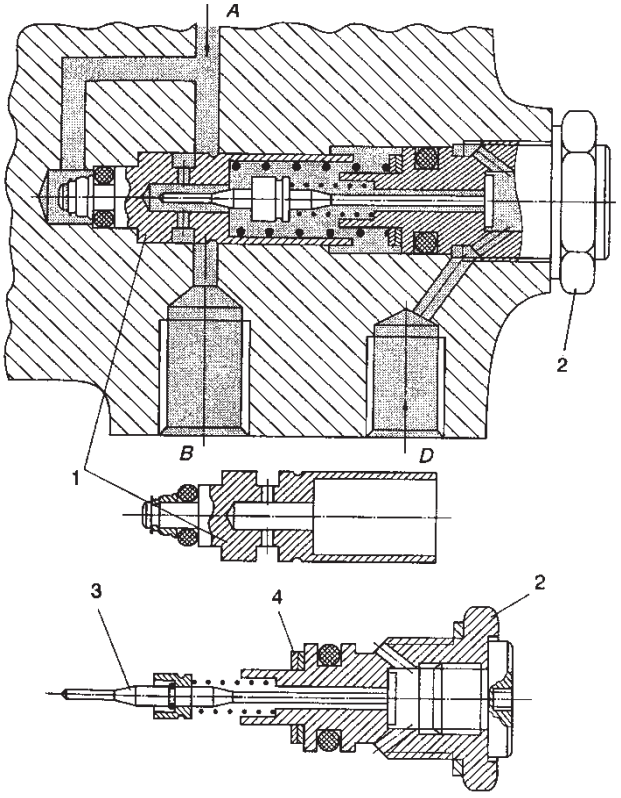


Рис. 6. Регулятор тиску живлення:
1 – поршень; 2 – штовхальний клапан у зборі з корпусом; 3 – штовхальний клапан; 4 – регулювальні шайби; A, B, D – паливні канали (рис. 1.1)

Положення нижньої діафрагми визначається розрідженням, що підводиться, та атмосферним тиском. На холостому ході й при часткових навантаженнях дросельна заслінка прикрита, тому за нею встановлюється знижений тиск. Нижня діафрагма під дією атмосферного тиску притискається до верхнього упора (рис. 7, а та 8, а), при цьому внутрішня циліндрична пружина стискається.

Коли прогрітий двигун працює у звичайному режимі (часткові навантаження), пластинчаста біметалева пружина вигинається вгору (рис. 8, а) й на верхню діафрагму вже не діє. Нижня діафрагма під дією атмосферного тиску також притискається до верхнього упора. При цьому внутрішня циліндрична пружина перебуває у стиснутому стані: внизу впирається у діафрагму, вгорі – через клапан верхньої діафрагми – у корпус. На верхню діафрагму знизу діє сумарне зусилля двох пружин, зверху – зусилля, що визначається тиском, який підводиться через дросель 7 (рис. 7, а) у кільцевий канал над діафрагмою. Зусиллям двох стиснутих пружин визначається максимальне значення керуючого тиску (рис. 8, а).

У режимі повного навантаження дросельна заслінка відкрита повністю, розрідження за нею зменшується, тобто підвищується тиск. Нижня діафрагма переміщається у крайнє положення до упора (рис. 8, б), унаслідок чого зусилля внутрішньої циліндричної пружини різко знижується. Під дією тиску верхня діафрагма прогинається вниз, завдяки чому керуючий тиск знижується й робоча суміш збагачується.

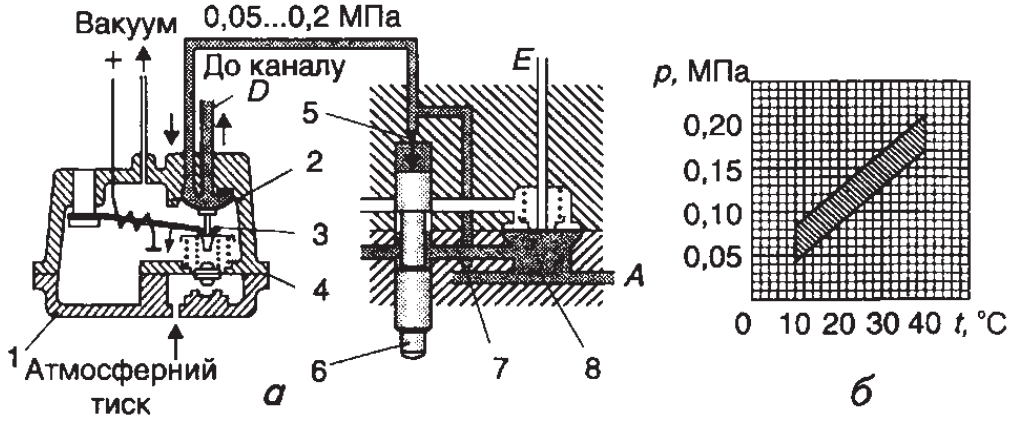


Рис. 2.7. Регулювання складу робочої суміші під час прогрівання двигуна:

а – прогрівання двигуна на холостому ході (1 – регулятор керуючого тиску; 2 – верхня діафрагма; 3 – біметалева пластинчаста пружина; 4 – нижня діафрагма; 5 – демпфірувальний дросель; 6 – плунжер розподільника; 7 – дросель підживлення; 8 – диференціальний клапан; A, D, E – паливні канали); б – графік зміни керуючого тиску (заштриховано допустимий діапазон), перевіряється, коли двигун не працює

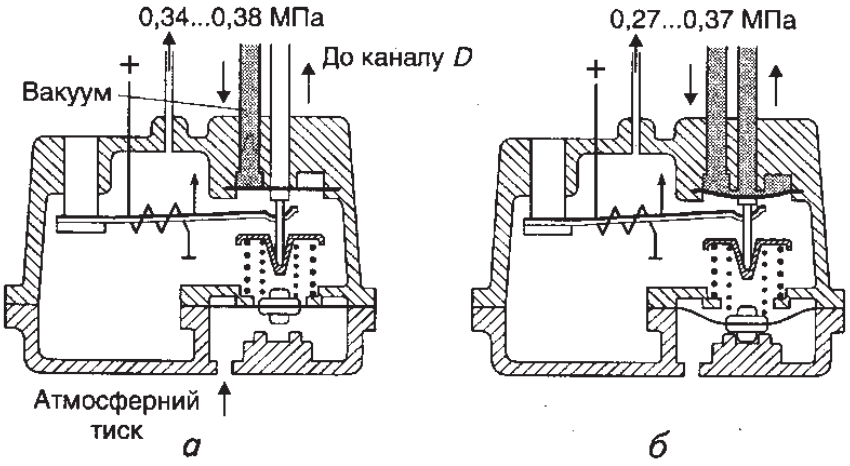


Рис. 8. Регулювання складу робочої суміші (двигун прогріто):

а – часткові навантаження (керуючий тиск 0,34 – 0,38 МПа, перевіряється на холостому ході); б – повне навантаження (керуючий тиск 0,27 – 0,37 МПа, перевіряється, коли двигун не працює)

Пускова форсунка призначається для впорскування у впускний колектор додаткової кількості палива в момент пуску холодного двигуна. Вона працює

разом із термореле (тепловим реле часу), яке керує її електричним колом залежно від температури двигуна та тривалості його пуску.

Подача пускових форсунок при тиску 0,45 МПа становить приблизно 85 см^3/хв; робоча напруга – 7 – 15 В; споживана потужність – 3 Вт; кут конуса розпилювання палива – 80°; тривалість упорскування: при температурі –20°С – до 7,5 с, при 0°С – до 5 с, при +20°С – 2 с, при +35 С – не вмикається.

Термореле (рис. 9) має нормально замкнені контакти, один з яких з'єднано з "масою", а інший установлено на біметалевій пластині. Електричне підігрівання пластини здійснюється через затискач 50 (реле стартера) вимикача запалювання (рис. 12) або через реле пуску холодного двигуна — післястартове реле. У першому випадку підігрівання працює тільки тоді, коли ввімкнено стартер, в другому – триваліший час. Коли контакти термореле замкнено, відбувається живлення пускової форсунки з електромагнітним керуванням, тобто пускова форсунка відкрита й упорскується додаткова кількість палива.

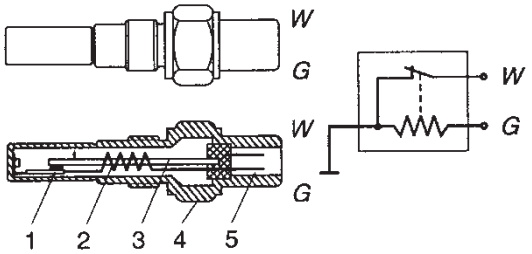


Рис. 9. Термореле:

1 – контакти; 2 – електрична спіраль; 3 – біметалева пластина; 4 – корпус; 5 – штекер

Тривалість упорскування палива пусковою форсункою становить 1 – 8 с, залежно від температури двигуна (охолоджувальної рідини). За цей час біметалева пластина через електричне підігрівання деформується настільки, що контакти термореле розмикаються, електроживлення пускової форсунки припиняється, й дальше збагачення суміші не відбувається.

Якщо двигун теплий, контакти термореле розімкнені й пускова форсунка не працює. Живлення здійснюється робочими форсунками.

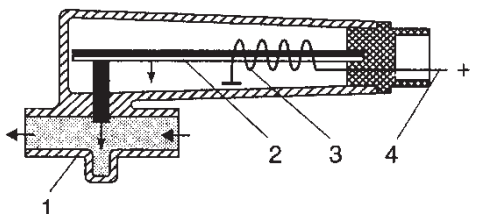


Рис. 10. Клапан додаткового повітря:

1 – діафрагма; 2 – біметалева пластина; 3 – електрична спіраль; 4 – штекер

Клапан додаткового повітря. Як відомо, під час пуску холодного двигуна та його прогрівання для стійкої роботи потрібна підвищена кількість робочої суміші. Забезпечується це кількома пристроями. Один із них – клапан додаткового повітря (рис. 2.10). Коли двигун холодний, діафрагма 1 клапана втримується біметалевою пластиною у верхньому положенні, клапан відкритий, і повітря надходить, минаючи дросельну заслінку. У міру прогрівання біметалева пластина вигинається вниз, унаслідок чого канал подачі додаткового повітря перекривається. Біметалева

пластина обігрівається спеціальною електричною спіраллю, а також завдяки температурі двигуна.

За допомогою клапана під час прогрівання збільшується лише кількість повітря. Для збагачення робочої суміші є два способи:

1) додаткове повітря фіксується витратоміром, його напірний диск переміщується й через важіль діє на плунжер розподільника, піднімаючи його вгору (суміш збагачується);

2) на холодному двигуні вмикається регулятор керуючого тиску. Біметалева пластина регулятора стискає пружину діафрагмового клапана, відкриваючи канал зливання палива, що зменшує протидію на плунжері розподільника. Зменшення керуючого тиску за незмінної витрати повітря спричиняє збільшення ходу напірного диска. Унаслідок цього розподільний плунжер додатково трохи піднімається, збільшуючи кількість палива, що подається до форсунок.

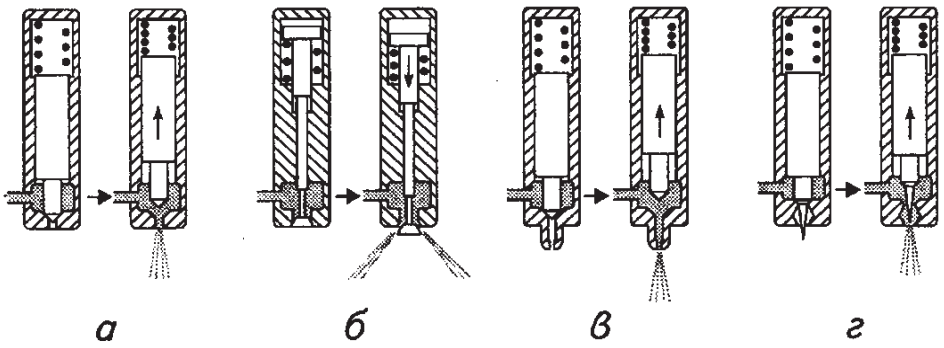


Рис. 11. Форсунки (інжектори) впорскування палива:

а, б – клапанні; в – закрита; г – штифтова

Форсунки впорскування (рис. 11) відкриваються автоматично під тиском і не здійснюють дозування палива. Кут конуса розпилювання палива становить приблизно 35° (у пускової форсунки – 80°).

Форсунки, що випускаються, наприклад, фірмою Bosch, розроблено для кожної моделі автомобіля та двигуна, й їхні конструкції постійно вдосконалюються.

Найпоширеніші діапазони тисків відкривання форсунок (початку впорскування) такі: 0,27 – 0,38; 0,30 – 0,41; 0,32 – 0,37; 0,43 – 0,46; 0,45 – 0,52 МПа. Деякі фірми зазначають тиск початку впорскування для нових форсунок і тих, що припрацювалися. Так, для автомобілів “Mercedes-Benz-190“ тиски початку впорскування нових форсунок становлять 0,35 – 0,41 та 0,37 – 0,43 МПа, а форсунок, що припрацювалися, – відповідно 0,3 (не менше) і 0,32 МПа.

Для деяких автомобілів, наприклад “Audi-100“, зазначають подачу форсунок: при потужності двигуна 74 – 98 кВт на холостому ході подача становить 25 – 30 см^3/хв, а в режимі повного навантаження – 80 см^3/хв.

Важливий показник роботи форсунки впорскування – тиск, що відповідає закритому стану. Наприклад, на автомобілі з діапазоном тисків початку відкривання форсунок 0,45 – 0,52 МПа тиск, що відповідає закритому стану (тиск зливання), дорівнює 0,25 МПа. Для контролю тиску зливання потрібно встановити тиск 0,25 МПа й підрахувати кількість крапель палива, які виходять із розпилювача за 1 хв (допускається тільки одна крапля). Якщо бензин недостатньо чистий, тиск зливання різко спадає, а це, своєю чергою, може ускладнити пуск двигуна (особливо гарячого).

Іноді до клапанних форсунок упорскування може додатково підводитися повітря. Воно забирається перед дросельною заслінкою (тиск тут вищий, ніж біля форсунки) й спеціальним каналом подається у тримач кожної форсунки. Ця система сприяє поліпшенню сумішоутворення на холостому ході, оскільки змішування бензину з повітрям починається вже у тримачі форсунки. Краще сумішоутворення забезпечує краще згоряння й, відповідно, меншу витрату палива, а також зниження токсичності відпрацьованих газів.

Форсунки у впускний колектор угвинчують або запресовують. В останньому випадку під час їх демонтажу потрібно додатково прикладати значне зусилля. Краще випресовувати форсунки, нагрівши колектор до температури 80°С.

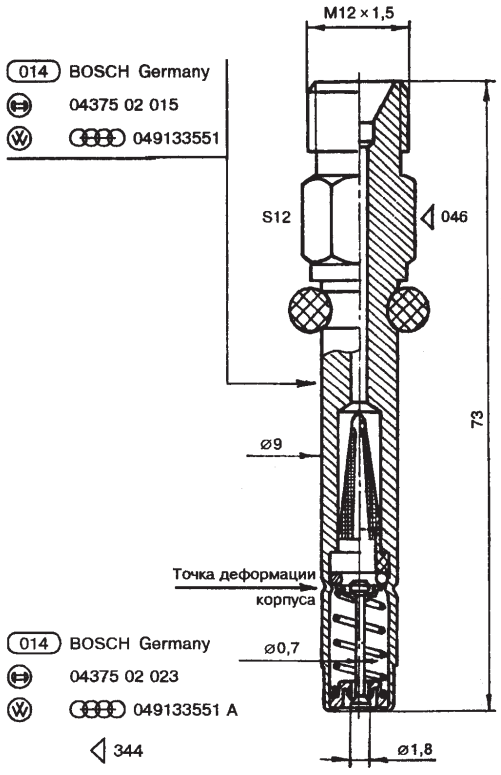


Рис. 12. Форсунка BOSHC

2.4. Електрична схема системи впорскування

Електрична схема системи впорскування зображена на рис. 13 – 15. Тиск у системі живлення створюється електричним насосом, який після вмикання запалювання починає працювати лише тоді, коли обертається колінчастий вал двигуна.

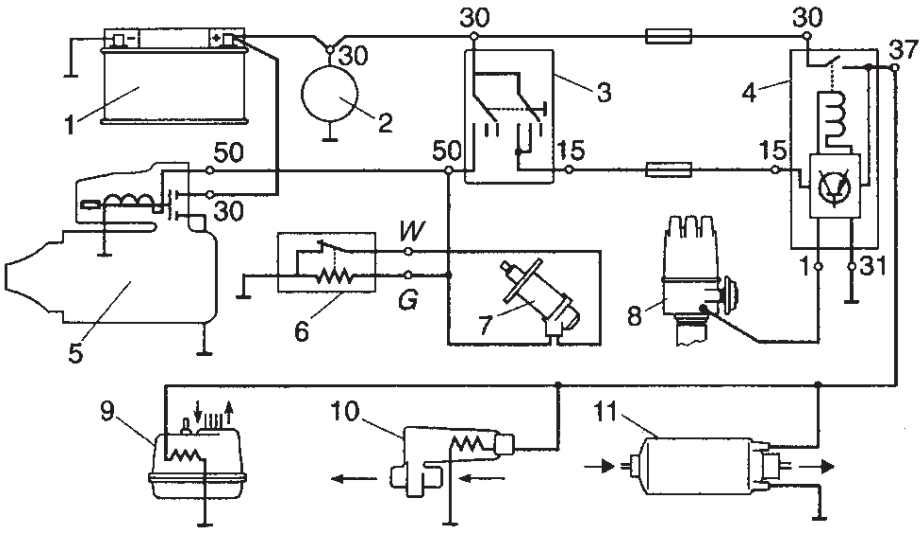


Рис. 13. Електрична схема системи «К-Jetronic» без післястартового реле (у стані спокою):

1 – акумуляторна батарея; 2 – генератор; 3 – вимикач запалювання; 4 – керуюче реле; 5 – стартер; 6 – термореле; 7 – пускова електромагнітна форсунка; 8 – датчик-розподільник; 9 – регулятор керуючого тиску; 10 – клапан додаткового повітря; 11 – паливний насос

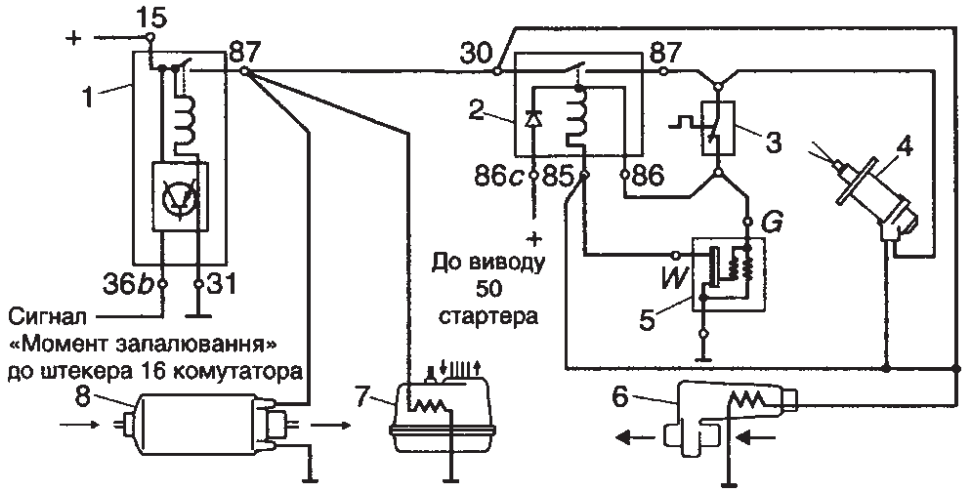


Рис. 14. Фрагменти електричної схеми системи «К- Jetronic» (рис. 2.12):

1 – реле вмикання паливного насоса; 2 – реле пуску холодного двигуна; 3 – термоелектричний вимикач; 4 – пускова електромагнітна форсунка; 5 – теплове реле часу; 6 – клапан додаткового повітря; 7 – регулятор керуючого тиску; 8 – паливний насос

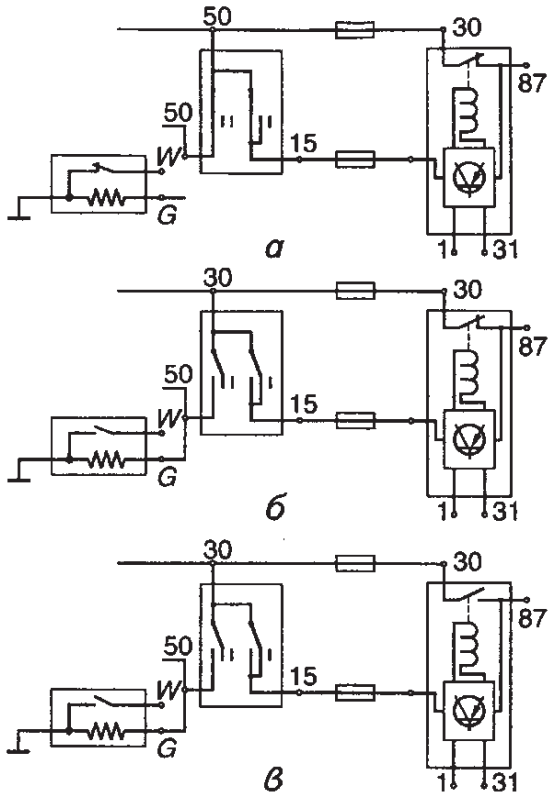


Рис. 15. Електрична схема системи "К- Jetronic" із реле пуску холодного двигуна (з післястартовим реле):

а – пуск холодного двигуна; б – двигун прогріто; в – запалювання ввімкнено, колінчастий вал двигуна не обертається

Більшість елементів системи "К-Jetronic" живиться від керуючого реле, й тільки пускову електромагнітну форсунку та термореле підключено до затискача 50 вимикача запалювання (рис. 13). Інакше кажучи, пускова форсунка й термореле можуть умикатися лише під час роботи стартера. Електронасос, регулятор керуючого тиску та клапан додаткового повітря вмикаються керуючим реле. Останнє вимикає всі зазначені елементи схеми, коли ввімкнено запалювання, але колінчастий вал двигуна не обертається, що важливо з погляду безпеки в разі аварії.

Під час пуску холодного двигуна (рис. 14) напруга із затискача 50 подається на пускову форсунку й термореле. Якщо пуск триває понад 10 – 15 с, то термореле вимикає пускову форсунку, щоб двигун не "залило". Якщо під час пуску двигун має підвищену температуру (приблизно 36°С), то термореле розімкнене й пускова форсунка не функціонує.

Керуюче реле вмикається самостійно, як тільки стартер прокрутить колінчастий вал двигуна. Для цього керуюче реле отримує імпульси від датчика-розподільника, затискача котушки запалювання або від відповідного затискача комутатора. Керуюче реле розпізнає стан "колінчастий вал двигуна обертається". Якщо ж двигун не почав працювати, то імпульси до керуючого реле більше не надходять. Реле розпізнає це й вимикає паливний насос за 1 с після проходження останнього імпульсу. Суть умикання, зображеного на схемі рис. 15, полягає у продовженні часу роботи пускової форсунки (після вимикання стартера).

3. Завдання на лабораторну роботу

3.1. Вивчити загальну будову системи впорскування палива «К- Jetronic».

3.2. Вивчити роботу системи в режимі запуску, холостого ходу, середніх та повних навантажень.

3.3. Вивчити будову та роботу основних агрегатів системи.

3.4. Ознайомитися з будовою електричної схеми системи впорскування палива «К- Jetronic».

4. Завдання для звіту

4.1. Виконайте схему системи впорскування палива «К- Jetronic» та опишіть принцип дії: головної дозувальної системи, системи холостого ходу, системи пуску.

4.2. Виконайте електричну схему системи впорскування «К- Jetronic» та опишіть її роботу в основних режимах.

5. Питання для самоконтролю

5.1. Опишіть загальну будову системи живлення «К- Jetronic».

5.2. Опишіть призначення й будову дозатора-розподільника подачі палива.

5.3. Опишіть роботу системи в режимі запуску та холостого ходу.

5.4. Опишіть роботу головної дозувальної системи.

5.5. Опишіть будову та роботу клапанної форсунки (інжектора).

5.6. Яке призначення акумулятора тиску палива?

5.7. Яке призначення терморегулятора?

5.8. Опишіть електричну схему системи живлення «К- Jetronic».

6. Рекомендовані першоджерела

1. Грехов Л. В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. – М. : Легион-Автодата, 2003. – 176 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей / Ефимов С. И., Иващенко Н. А., Ивин В. И. и др.; под общ. ред. Орлина С. А., Круглова М. Г. – М. : Машиностроение, 1985. – 456 с.
3. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів. – К. : Либідь, 2000. – 400 с.
4. Скварок Ю.Ю. Паливна апаратура двигунів: – Курс лекцій. – Дрогобич : ШВИДКОДРУК, 2008. – 112 с.

Лабораторна робота № 2

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ «L-JETRONIC»

Мета: вивчити будову та принцип функціонування керованої електронікою системи багатоточкового (розподіленого) переривчастого впорскування палива.

Обладнання: стенд і схема системи впорскування палива «L-Jetronic».

1. Питання для самопідготовки

1. Переваги систем живлення бензинових двигунів з впорскуванням палива.
2. Класифікація систем живлення з впорскуванням легкого палива.
3. Загальна будова системи живлення з впорскуванням легкого палива.

2. Теоретичні відомості

«L-Jetronic» – це керована електронікою система багатоточкового (розподіленого) переривчастого впорскування палива. Головні відмінності цієї системи від розглянутих у роботі 1: немає дозатора-розподільника й регулятора керуючого тиску – всі форсунки (пускова й робочі) з електромагнітним керуванням; істотно змінено витратомір повітря; тиск палива в системі приблизно вдвоє менший; може не бути нагромаджувача (гідроакумулятора). «L-Jetronic» – досконаліша система, оскільки підвищує економічність і поліпшує динаміку автомобіля, знижує токсичність відпрацьованих газів.

Принцип дії. Електричний паливний насос 2 забирає паливо з бака 1 (рис. 1) і подає його під тиском 0,25 МПа крізь фільтр тонкої очистки 3 до розподільної лінії 4, яка шлангами сполучається з робочими форсунками 8 циліндрів. Установлений з торця розподільної лінії 4 регулятор 5 тиску палива в системі підтримує постійний тиск упорскування, а також здійснює зливання зайвого палива в бак, що забезпечує циркуляцію палива в системі й запобігає утворенню парових пробок.

Кількість упорскуваного палива визначається електронним блоком керування 13, залежно від температури, тиску й об’єму повітря, що надходить, а також від частоти обертання колінчастого вала, навантаження двигуна й температури охолоджувальної рідини. Основний параметр, який визначає дозування палива, – об’єм усмоктуваного повітря – вимірюється витратоміром повітря. Повітряний потік, що надходить, долаючи зусилля пружини, відхиляє напірну вимірювальну заслінку витратоміра повітря на певний кут. Відповідний електричний сигнал формується за допомогою потенціометра й передається на блок електронного керування, який визначає потрібну кількість палива в

певний момент роботи двигуна й видає на електромагнітні клапани робочих форсунок імпульси часу подавання палива. Незалежно від положення впускних клапанів, форсунки впорскують паливо за один або два оберти колінчастого вала двигуна (за цикл, за два такти). Якщо впускний клапан у момент упорскування закритий, то паливо нагромаджується у просторі перед клапаном і надходить у циліндр під час наступного його відкривання разом із повітрям. Клапан додаткової подачі повітря 19 (рис. 1), який установлено в повітряному каналі, виконаному паралельно до дросельної заслінки, підводить до двигуна додаткове повітря під час його холодного пуску та прогрівання, що спричиняє підвищення частоти обертання колінчастого вала. Для прискорення прогрівання двигуна підвищують частоту обертання колінчастого вала понад 1000 хв$^{-1}$.

Для полегшення пуску холодного двигуна, як і в інших розглянутих системах упорскування, застосовується електромагнітна пускова форсунка 6, тривалість відкривання якої змінюється, залежно від температури охолоджувальної рідини (термореле 11).

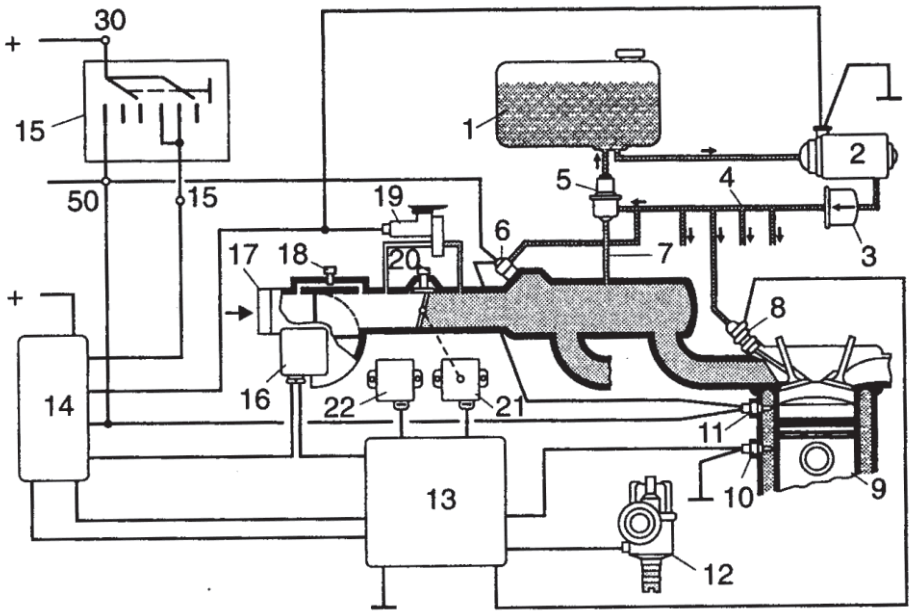


Рис. 1. Схема системи впорскування палива «L-Jetronic»:

1 – паливний бак; 2 – паливний насос; 3 – фільтр тонкої очистки палива; 4 – розподільна лінія; 5 – регулятор тиску палива в системі; 6 – пускова форсунка; 7 – підведення розрідження до регулятора тиску палива в системі; 8 – форсунка (інжектор) упорскування; 9 – блок циліндрів двигуна; 10 – датчик температури охолоджувальної рідини; 11 – термореле; 12 – датчик-розподільник запалювання; 13 – електричний блок керування; 14 – блок реле; 15 – вимикач запалювання; 16 – витратомір повітря; 17 – підведення повітря; 18 – гвинт регулювання якості (складу) суміші на холостому ході; 19 – клапан додаткового повітря; 20 – гвинт регулювання кількості суміші на холостому ході; 21 – вимикач положення дросельної заслінки; 22 – висотний коректор

Функціональний зв’язок усіх елементів системи впорскування «L-Jetronic» зображено на рис. 2. Доза палива визначається електронним блоком керування залежно від маси всмоктуваного повітря (об’єму, тиску, температури), температури двигуна та режиму його роботи.

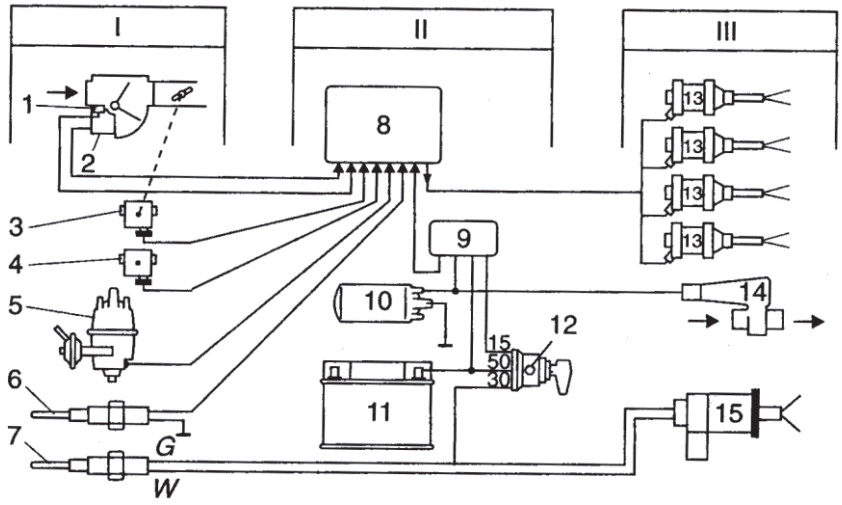


Рис. 2. Функціональна схема керування системою впорскування палива «L-Jetronic»:

I – пристрій вхідних параметрів (1 – датчик температури всмоктуваного повітря; 2– витратомір повітря; 3– вимикач положення дросельної заслінки; 4 – висотний коректор; 5 – датчик-розподільник запалювання; 6 – датчик температури охолоджувальної рідини; 7– термореле); II – пристрій керування й забезпечення (8 – електронний блок керування; 9 – блок реле; 10 – паливний насос; 11 – акумуляторна батарея; 12 – вимикач запалювання); III – пристрій вихідних параметрів (13 – робочі форсунки; 14 – клапан додаткового повітря; 15 – пускова форсунка)

Функціонування системи на різних режимах роботи двигуна. Кожний циліндр має свою форсунку з електромагнітним керуванням, яка впорскує паливо перед впускним клапаном. Упорскування узгоджено з частотою обертання колінчастого вала двигуна. Інформація про частоту обертання передається в електронний блок керування від контакту переривника (системи запалювання з контактним керуванням), від затискача котушки запалювання або затискача комутатора (для безконтактних систем запалювання).

Об’єм повітря, що проходить, цілком визначається положенням дросельної заслінки (навантаженням двигуна) й вимірюється витратоміром. Останній не враховує лише повітря, яке проходить обвідним каналом, що використовується для СО-регулювання (рис. 1).

Інформація про тепловий режим двигуна надходить від датчика температури охолоджувальної рідини.

Інформацію про навантажувальний режим двигуна в блок електронного регулювання видає вимикач положення дросельної заслінки. Інформація

складається із сигналів: “холостий хід“, “часткові навантаження“, “повне навантаження“. Якщо дросельна заслінка закрита, то двигун працює на холостому ході, контакти холостого ходу замкнені, а в електронний блок керування подається відповідний сигнал. Так само передається інформація про повне навантаження двигуна, тільки в цьому разі контакти розімкнені. Сигнал про часткове навантаження формується за допомогою потенціометра.

Для полегшення холодного пуску суміш збагачується пусковою форсункою, якою керує вимикач запалювання через термореле, реле пуску холодного двигуна (післястартове реле) та термореле. Призначення післястартового реле – збільшити тривалість роботи пускової форсунки.

Під час прогрівання двигуна на холостому ході подача палива збільшується також завдяки сигналам, які надходять в електронний блок керування від датчика температури двигуна (охолоджувальної рідини).

У системі ”L-Jetronic” враховується, що густина холодного повітря перевищує густину теплого. Чим тепліше всмоктуване повітря, тим гірше наповнення циліндрів при незмінному положенні дросельної заслінки. Температура повітря, що надходить, змінюється, залежно від зміни як “зовнішньої“ температури, так і “внутрішньої“. Нормальна температура в підкапотному просторі – приблизно 50°С. Інформація про температуру повітря від датчика, вбудованого у витратомір повітря, надходить в електронний блок керування, який визначає дозу впорскуваного палива. На деяких автомобілях, крім того, встановлюється висотний коректор, який інформує блок керування про зовнішній атмосферний тиск.

Двигун працює переважно в режимі часткових навантажень, тому програма, закладена в електронний блок керування, забезпечує мінімально можливу витрату палива й прийнятну концентрацію шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Паливної економічності та (або) мінімальної токсичності відпрацьованих газів удається досягти використанням лямбда-зондів і нейтралізаторів.

Систему холостого ходу доповнено обвідним каналом витратоміра повітря (рис. 1). У цьому каналі встановлено гвинт регулювання якості (складу) суміші або СО-регулювання. Призначення обвідних каналів дросельної заслінки таке саме, як і в уже розглянутих системах.

У режимі примусового холостого ходу дросельна заслінка закрита, й у блок керування подається сигнал “холостий хід“. Якщо при цьому частота обертання колінчастого вала двигуна перевищує відновну частоту обертання, коли знову починається впорскування палива (як правило, 1200 – 1700 хв$^{-1}$), впорскування палива припиняється. Відповідно, зменшуються витрата палива й викидання шкідливих речовин.

Витратомір повітря системи ”L-Jetronic” (рис. 3) відрізняється від витратомірів розглянутих систем. Повітряний потік діє на вимірювальну заслінку 2 прямокутної форми, закріплену на осі в спеціальному каналі. Поворот заслінки перетворюється потенціометром на напругу, пропорційну до витрати повітря. Потенціометр має вигляд ланцюжка резисторів, увімкнених паралельно до контактної доріжки.

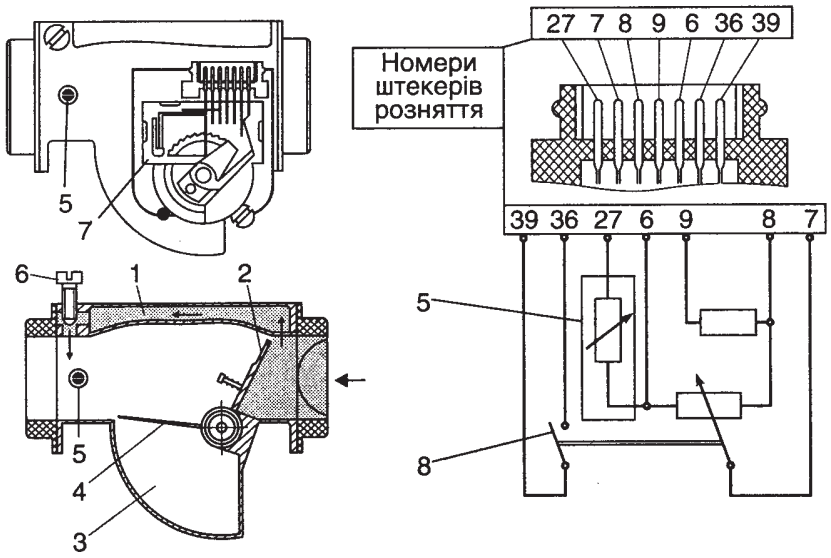


Рис. 3. Витратомір повітря з датчиком температури:

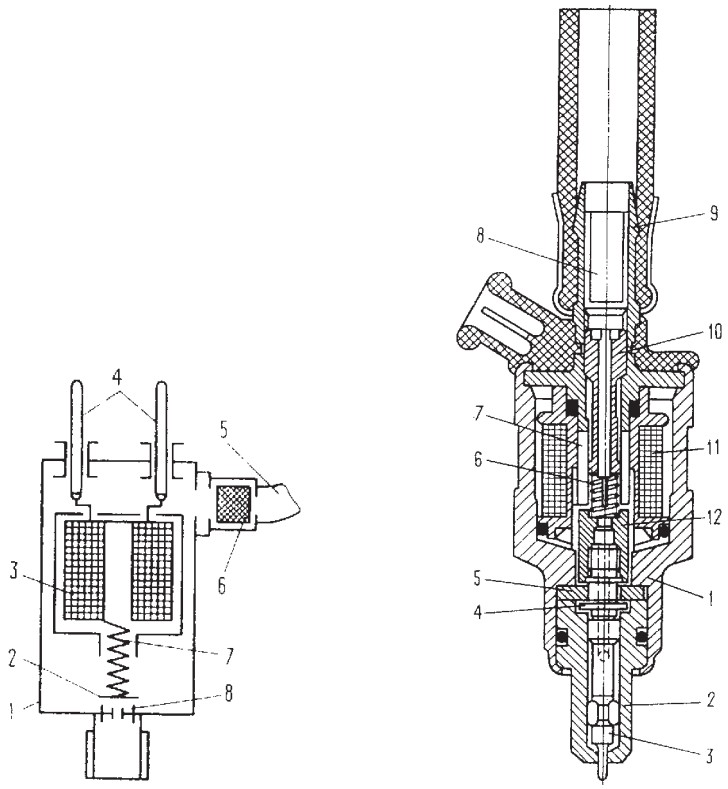
1 – обвідний канал; 2 – вимірювальна заслінка; 3 – демпферна камера; 4 – пластина демпфера; 5 – датчик температури; 6 – гвинт якості (складу) суміші холостого ходу; 7 – потенціометр; 8 – контакти паливного насоса

Дія повітряного потоку на вимірювальну заслінку 2 зрівноважується пружиною. Для гасіння коливань, спричинених пульсаціями повітряного потоку та динамічними впливами, характерними для автомобіля, особливо на поганих дорогах, у витратомірі є демпфер 3 з пластиною 4. Останню виконано як одне ціле з вимірювальною заслінкою 2. Різким переміщенням вимірювальної заслінки перешкоджає повітря, що стискається у демпферній камері й тисне на пластину 4.

На вході у витратомір вбудовано датчик 5 температури повітря, що надходить. У верхній частині витратоміра розташовано обвідний канал 7 із гвинтом 6 якості (складу) суміші. Витратоміри бувають із шести- й семиштекерним підключенням.

Електромагнітна форсунка дозує паливо, працюючи в імпульсному режимі. Тривалість відкритого стану клапана форсунки залежить від тривалості керуючого електричного імпульсу, що подається на обмотку електромагніта форсунки. Принципова схема форсунки зображена на рис. 4, а. У корпусі 1 розміщений клапан 2 з пружиною 7, що притискає його до сідла 8, і

електромагніт 3. Кінці обмоток електромагніту виведені назовні через ізольовані контакти 4. Паливо в порожнину форсунки попадає трубопроводом 5 через фільтр 6.



а б

Рис. 4. Електромагнітна форсунка:
а) принципова схема, б) форсунка в розрізі

На рис. 4, б зображено повздовжній переріз форсунки фірми Bosch. При включенні обмотки електромагніту в коло, якір 12 піднімає голку 3, відкриваючи паливу вихід з розпилювача 2. Хід голки дорівнює 0,15 мм і обмежений упором бурта 4 в шайбу 5. Дозувальний отвір – це кільцева щілина між розпилювачем 2 і штуцером голки 3. Для регулювання форсунки призначений регулювальний гвинт 10. Форсунка не розбірна і ремонту не підлягає.

3. Завдання на лабораторну роботу

3.1. Вивчити загальну будову системи впорскування палива «L- Jetronic».

3.2. Вивчити роботу системи в режимі запуску, холостого ходу, середніх та повних навантажень.

3.3. Вивчити будову та роботу основних агрегатів системи.

4. Завдання для звіту

4.1. Виконайте схему системи впорскування палива «L-Jetronic» та опишіть принцип дії: головної дозувальної системи, системи холостого ходу, системи пуску.

4.2. Виконайте функціональну схему керування системою впорскування палива «L-Jetronic» та опишіть роботу її в основних режимах.

5. Питання для самоконтролю

5.1. Опишіть загальну будову системи живлення «L- Jetronic».

5.2. Опишіть роботу системи на різних режимах.

5.3. Опишіть будову та роботу електромагнітної форсунки.

5.4. Опишіть будову та роботу витратоміра повітря.

5.5. Опишіть функціональну електричну схему керування системою живлення «L- Jetronic».

5. Рекомендовані першоджерела

1. Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. – М. : Легион-Автодата, 2003. – 176 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей / Ефимов С.И., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др.; под общ. ред. Орлина С.А., Круглова М.Г. – М. : Машиностроение, 1985. – 456 с.
3. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. – К. : Либідь, 2000. – 400 с.
4. Скварок Ю.Ю. Паливна апаратура двигунів. Курс лекцій. – Дрогобич : ШВИДКОДРУК, 2008. – 112 с.

Лабораторна робота № 3

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ З БЕЗПОСЕРЕДНІМ ВПОРСКУВАННЯМ БЕНЗИНУ

Мета: вивчити будову та принцип функціонування систем з безпосереднім впорскуванням бензину.

Обладнання: схема системи безпосереднього впорскування бензину.

1. Питання для самопідготовки

1. Класифікація систем живлення з впорскуванням легкого палива.
2. Загальна будова й особливості роботи систем живлення з впорскуванням легкого палива у впускний трубопровід.
3. Загальна будова систем живлення з впорскуванням легкого палива у циліндр двигуна.

2. Теоретичні відомості

На відміну від дизелів, де вже давно застосовується безпосереднє впорскування пального у нероздільну камеру згорання, серійне виробництво бензинових двигунів з таким сумішеутворенням розпочала у 1997 році фірма Mitsubishi (двигун 4G93 GDI). У 1998 році подібні двигуни на своїх автомобілях почала встановлювати Toyota. Сьогодні такі двигуни виготовляють і європейські фірми (Mercedes, Volkswagen, BMW).

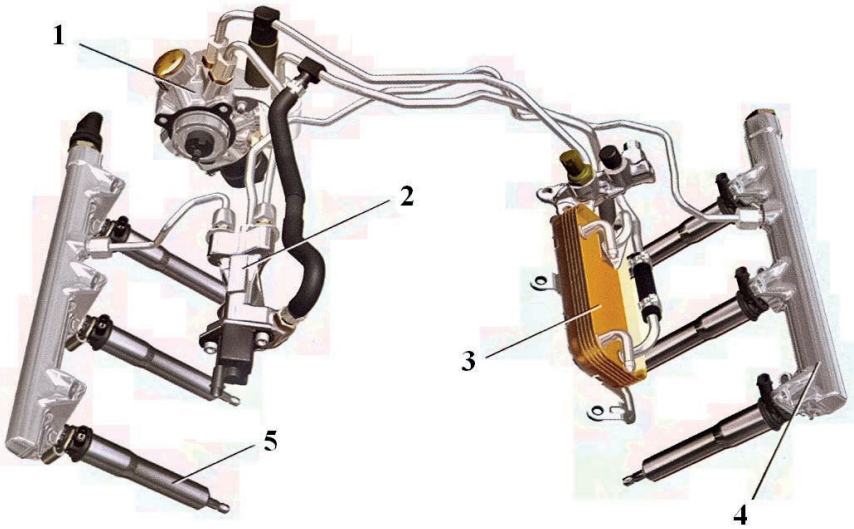


Рис. 1. Система Bosch безпосереднього впорскування бензину:
1 – паливний насос високого тиску; 2 – паливний розподільник; 3 – охолоджувач палива; 4 – паливна рейка; 5 – п’єзофорсунка

Традиційні бензинові двигуни можуть працювати при ступені стиснення до 12 одиниць і коефіцієнті надміру повітря до 1,1 при іскровому запалюванні. Робота на бідніших сумішах й підвищення ефективності згорання робочої суміші можливі лише через її глибоке розшарування з високою якістю перемішування та досить точним дозуванням з допомогою електронного регулювання подачі повітря, пального й іскри у визначені проміжки часу.

Для реалізації потрібного розшарування суміші, камера згорання в таких двигунах має спеціальну форму й виконана в заглибленні днища поршня та має яскраво виражений профіль. Така форма сприяє закручуванню заряду у площині циліндра впоперек його осі. У двигунах Toyota такому закручуванню також сприяє спеціальна конструкція впускного трубопроводу зі змінною геометрією, що регулюється електронним вихровим клапаном.

Переміщення поршня вгору на такті стиснення шляхом спеціальної форми днища поршня формує направлений повітряний потік. У цей потік у кінці такту стиснення в напрямку фігурного днища поршня електромагнітна вихрова форсунка впорскує з високою дисперсністю й широким конусом під високим тиском (до 13 МПа) мінімальний об'єм бензину.

Унаслідок переміщення поршня, спрямованого руху повітряного потоку й пального, що випарувалося, відбувається розшарування пальної суміші й безпосередньо біля свічки запалювання опиняється відносно багата її частина. А далі – бідніша, аж до практично чистого повітря біля стінок циліндра. Таким самим способом по об'єму камери згорання розподіляється й температура згорання робочої суміші. Таке глибоке розшарування пальної суміші забезпечує стабільність займання і згорання при дуже бідній суміші (у середньому по об'єму камери згорання коефіцієнт надміру повітря рівний 1,7–3,3). Це забезпечує високу паливну економічність.

Система безпосереднього впорскування складається з таких вузлів (рис. 1, 2): паливний насос високого тиску; регулятор тиску палива; паливна рампа; запобіжний клапан; датчик високого тиску; форсунки впорскування; блок керування двигуном.

Паливний насос високого тиску служить для подачі палива до паливної рампи і далі до форсунок впорскування під високим тиском (3 – 11 МПА), відповідно до потреб двигуна. Основу конструкції насоса складає один або декілька плунжерів. Насос приводиться в дію від розподільного вала впускних клапанів.

Регулятор тиску палива забезпечує дозовану подачу палива насосом, відповідно до впорскування форсунки. Регулятор розташований в паливному насосі високого тиску. Паливна рампа служить для розподілу палива по форсунках впорскування і запобігання пульсації палива в контурі. Запобіжний

клапан захищає елементи системи впорскування від граничних тисків, що виникають при температурному розширенні палива. Клапан встановлюється на паливній рампі.

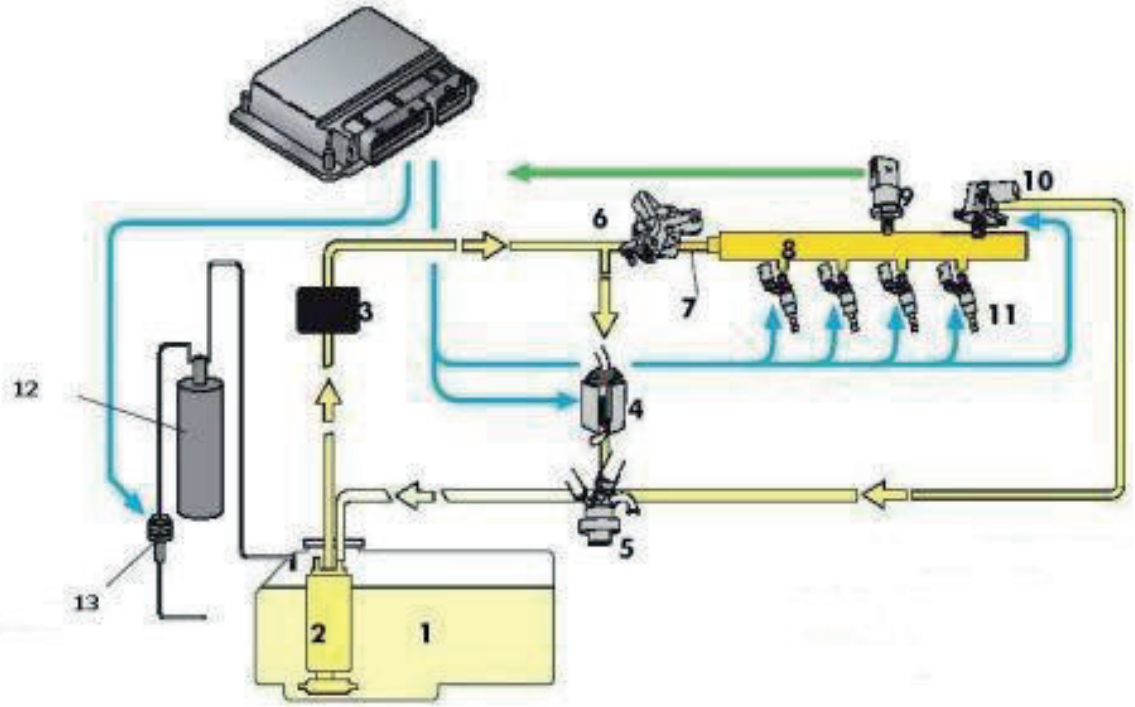


Рис.2. Схема системи безпосереднього впорскування (на прикладі системи Motronic MED7):

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 (паливна рампа); 9 – датчик високого тиску; 10 – запобіжний клапан; 11 – форсунки впорскування; 12 – адсорбер; 13 – електромагнітний замочний клапан продування адсорбера

Датчик високого тиску призначений для вимірювання тиску в паливній рампі. Відповідно до сигналів датчика, блок керування двигуном може змінювати тиск у паливній рампі. Форсунка впорскування забезпечує розпилювання палива в камері згорання для утворення паливно-повітряної суміші.

Узгоджену роботу системи забезпечує електронна система керування двигуном, яка є подальшим розвитком об'єднаної системи впорскування і запалювання Motronic. Традиційно система керування двигуном об'єднує вхідні датчики, блок керування і виконавчі механізми.

Окрім датчика високого тиску палива, в системі працюють датчик частоти обертання колінчастого вала, датчик положення розподільного вала, датчик положення педалі газу, витратомір повітря, датчик температури охолоджувальної рідини, датчик температури повітря на впуску. У сукупності датчики забезпечують необхідною інформацією блок керування двигуном, на підставі якої блок впливає на виконавчі механізми: електромагнітні клапани

форсунок; електромагнітний запобіжний клапан; електромагнітний перепускний клапан.

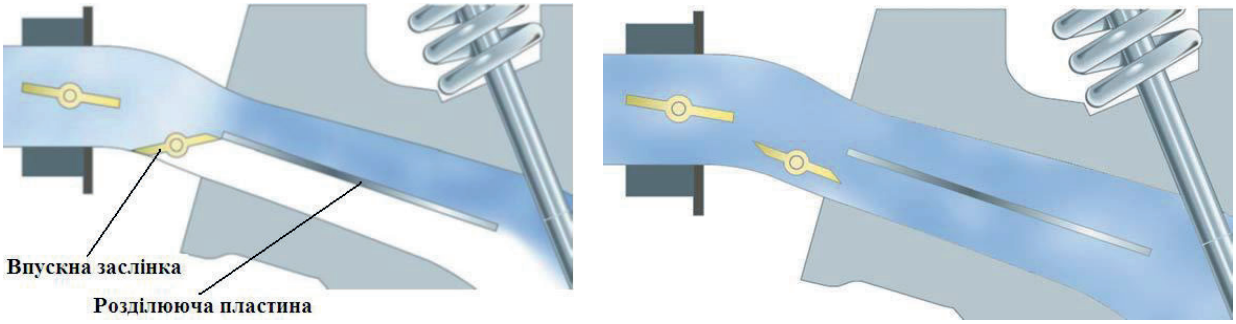
Поршні двигунів, обладнаних системами безпосереднього впорскування, мають спеціальну конструкцію і характерні заглиблення в днищі. Заглиблення спеціальної форми дають можливість факелу палива, що упорскується, закручуватися в турбулентній масі повітря і подавати паливну суміш безпосередньо до осередку займання – свічки запалювання. При подібній схемі сумішеутворення не утворюється нерозпорошеного палива на днищі поршня, оскільки сильний потік повітря знімає і розпилює ті краплі палива, які утворилися на днищі поршня при початковій стадії впорскування.

Рис. 3. Форма днища поршнів двигунів з безпосереднім впорскуванням

Організація впускання повітря в циліндри двигуна

Кожен впускний канал головки блока циліндрів розділений повздовжньою пластиною (розділююча пластина) на верхню і нижню частини. Пластині надана така форма, яка виключає помилку при її установці в головку циліндрів.

При реалізації робочого процесу двигуна можливі два способи впускання повітря в циліндри.



а **б**

Рис. 4. Впускання повітря в циліндри

Перший спосіб (рис. 4, а): встановлені на вході у впускні канали впускні заслінки закриті, тому повітря поступає в циліндри двигуна тільки через верхні частини впускних каналів – над розділювальними пластинами. Цей спосіб впускання повітря використовується для організації пошарового сумішеутворенняя.

Другий спосіб (рис. 4, б): при відкритих впускних заслінках повітря поступає в циліндри як через верхні, так і через нижні частини впускних каналів. Цей спосіб впускання повітря використовується для утворення гомогенної суміші.

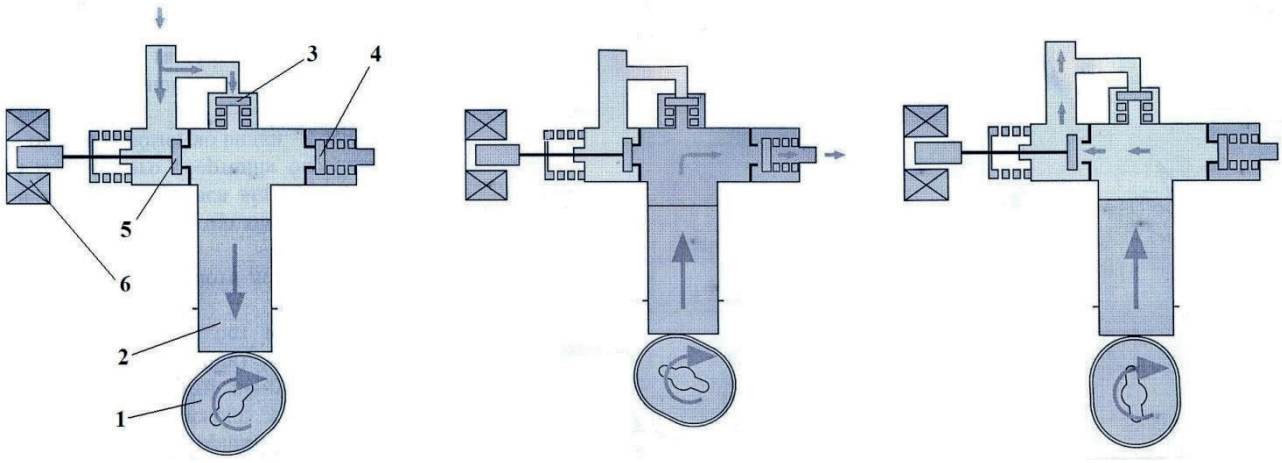
Паливний насос високого тиску

Одноплунжерный насос високого тиску регулюється за подачею. Він приводиться в дію безпосередньо від газорозподільного вала двигуна. Паливо до нього подається електронасосом під тиском до 0,6 МПа. Одноплунжерний насос підтримує в рампі тиск палива на заданому системою керування рівні.

При ході плунжера вниз порожнина над ним заповнюється паливом (рис. 5, а). При ході плунжера вгору паливо нагнітається в рампу під тиском, що діє в ній (рис. 5, б). Порожнина над плунжером може сполучатися також з впускним каналом через електромагнітний клапан регулювання подачі палива.

Якщо цей клапан відкривається до закінчення ходу нагнітання, тиск у надплунжерній порожнині падає і паливо повертається у впускний канал (рис. 5, в). Падінню тиску в паливній рампі перешкоджає нагнітальний клапан.

Регулювання подачі палива здійснюється зміною ходу плунжера від його нижнього положення до моменту відкриття клапана регулювання подачі. Досягши заданого рівня тиску в рампі цей, клапан залишається постійно відкритим, перешкоджаючи подальшому підвищенню тиску.



а б в

Рис. 5. Паливний насос високого тиску (схема роботи):

1 – кулачок; 2 – плунжер; 3 – впускний клапан; 4 – нагнітальний клапан; 5 – клапан регулювання подачі палива; 6 – електромагніт

Паливна рампа

Паливна рампа (рис. 6) служить для розподілу палива між форсунками та згладжування пульсацій тиску в ній. Вона виконує функції акумулятора високого тиску. На рампі встановлені форсунки, датчик тиску палива, запобіжний клапан і штуцери високого й низького тиску.

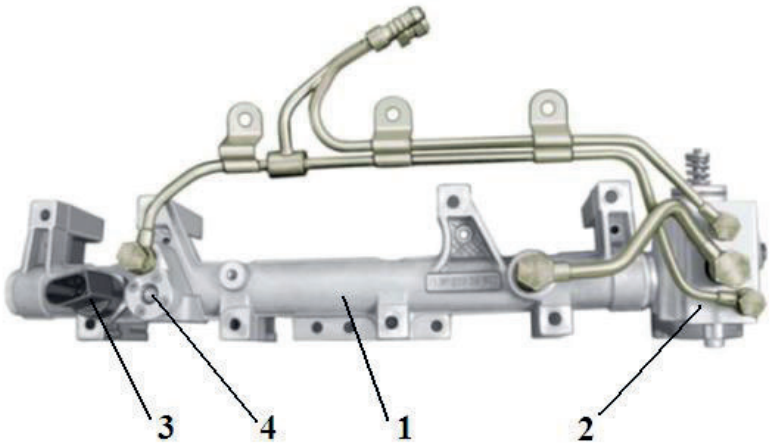


Рис. 6. Паливна рампа:
1 – рампа; 2 – насос високого тиску; 3 – датчик тиску палива; 4 – запобіжний клапан

Приготування паливної суміші

Завдання утворення паливної суміші полягає в тому, щоб приготувати гомогенну суміш повітря і палива. При роботі двигуна на гомогенній суміші (гомогенна суміш при $\lambda=1$, а також гомогенна збіднена суміш) вона повинна однорідно розподілятися по усій камері згорання. Навпаки, в умовах пошарового заряду, паливна суміш гомогенна тільки в межах просторово обмеженої зони, а в інших зонах камери згорання знаходиться свіже повітря або інертний газ.

Гомогенною може бути газоподібна або пароподібна паливна суміш тільки у тому випадку, якщо усе паливо випарувалося. На випаровування впливають декілька чинників: температура в камері згорання; розмір крапель палива; час, який є в розпорядженні для випаровування палива.

Залежно від температури, тиску і геометрії камери згорання, якість паливної суміші може бути в діапазоні значень $\lambda = 0{,}6 – 1{,}6$. При низьких температурах паливо випаровується не повністю. Тому за цих умов потрібно упорскувати більше палива для того, щоб отримати здатну до займання суміш.

Для того, щоб отримати якомога більше часу для утворення гомогенної паливної суміші, паливо повинне упорскуватися якомога раніше. Тому при гомогенному розподілі суміші впорскування відбувається вже при такті впуску, і за допомогою повітря, що поступає, досягається швидке випаровування палива і хороша гомогенізація суміші.

Для пошарового заряду утворення здатної до займання суміші, яка до моменту запалювання є поблизу свічки запалювання, має вирішальне значення. Ось чому паливо упорскується при такті стиску так, що виникає хмара суміші, яка спрямовується потоками повітря в камеру згорання і відводиться поршнем, що рухається вгору, в зону розташування свічки запалювання. Момент впорскування залежить від частоти обертання колінчастого вала й потрібного крутного моменту.

Величина крапель палива залежить від тиску впорскування і тиску в камері згорання. З підвищенням тиску впорскування можна отримати менший розмір крапель, які швидше випаровуються. При постійному тиску в камері згорання так звана глибина проникнення збільшується одночасно із зростанням тиску впорскування. Глибина проникнення визначається як відстань, яку проходить окрема крапля палива перед повним випаровуванням.

Якщо цей пройдений шлях перевищує відстань від форсунки до стінки камери згорання, то змочуються стінки циліндра або поршень (змочування стінок). Якщо це паливо не випаровується на стінці циліндра і поршні до моменту запалювання, то або не відбувається займання суміші, або не буде повного згорання.

При використанні безпосереднього впорскування палива відомі шість способів приготування суміші: пошаровий розподіл суміші; утворення гомогенної суміш; утворення гомогенно-збідненої суміші; гомогенно-пошаровий розподіл суміші; подвійне впорскування для захисту двигуна від детонації; подвійне впорскування для розігрівання нейтралізатора. Ці способи дають можливість досягти максимальної адаптації до кожного режиму роботи двигуна. Зміна режимів роботи в процесі руху автомобіля здійснюється без стрибків крутного моменту і тому не помічається водієм.

Робота двигуна при пошаровому розподілі суміші

У нижньому діапазоні крутного моменту, приблизно при 3000 об/хв, двигун працює в умовах пошарового заряду.

Перехід двигуна на режим роботи з використанням пошарової суміші здійснюється за таких умов:

- навантаження і частота обертання колінчастого вала двигуна відповідають режимам, на яких ефективне використання пошарового сумішеутворення;
- системою не зареєстрована несправність, через яку може підвищитися викид шкідливих речовин;
- температура охолоджувальної рідини вище 50°С;
- датчик оксидів азоту справний;

– температура накопичувального нейтралізатора є в межах від 250°С до 500°С.

Якщо ці передумови виконані, можливий перехід на пошарове сумішеутворення.

Процес впуску (рис. 7)

При роботі на пошаровій суміші дросельну заслінку відкривають при можливості більше, щоб до максимуму понизити втрати на дроселювання.

При цьому встановлена у впускному каналі *допоміжна заслінка* (названа надалі *впускною* заслінкою) перекриває його нижню частину. У результаті підвищується швидкість потоку повітря, яке закручується потім у циліндрі, що проходить через верхню частину каналу. Дросельна заслінка не повинна відкриватися повністю, оскільки для нормального функціонування адсорбера і системи рециркуляції відпрацьованих газів завжди потрібне певне розрідження у впускній системі.

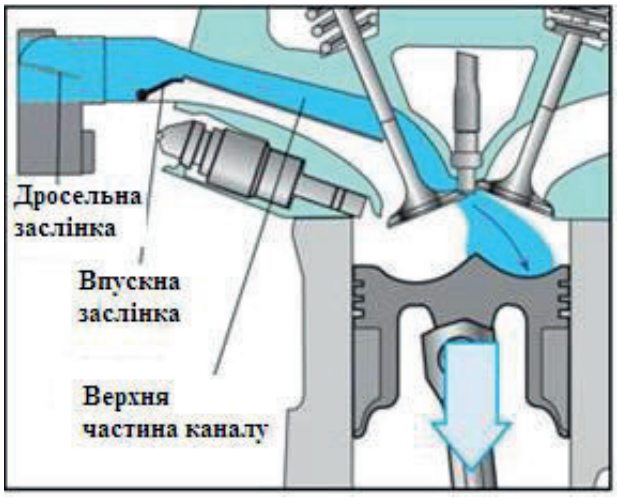


Рис. 7. Процес впуску при пошаровому розподілі суміші

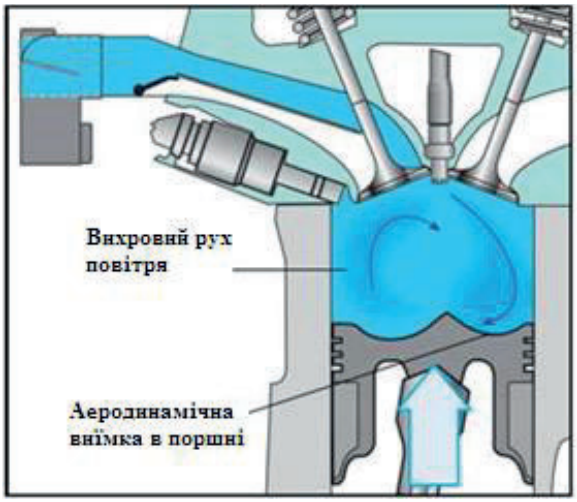


Рис. 8. Процес завихрення потоків повітря при пошаровому розподілі суміші

Рух повітря у циліндрі двигуна (рис. 8)

Спеціальна форма виїмки в днищі поршня сприяє утворенню і посиленню вихору в циліндрі двигуна.

Впорскування палива (рис. 9)

Паливо впорскується в останній третині такту стиску. Впорскування починається приблизно за 60° і закінчується приблизно за 45° до ВМТ такту стиску. Початок впорскування значно впливає на розташування хмарки суміші відносно свічки запалювання.

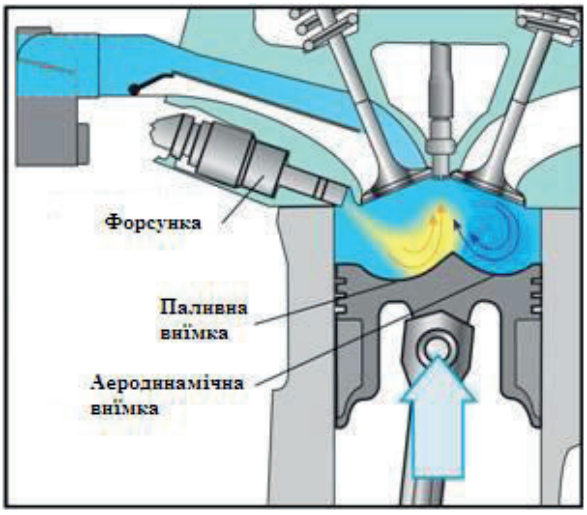


Рис. 9. Впорскування палива при пошаровому розподілі суміші

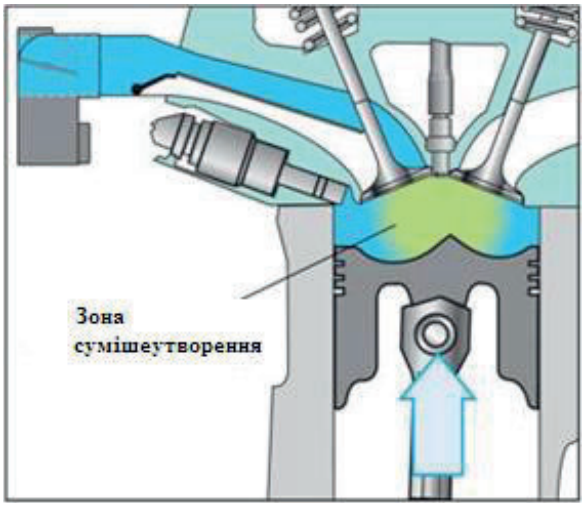


Рис. 10. Процес сумішеутворення при пошаровому розподілі суміші

Паливо подається у напрямі паливної виїмки в поршні. Бажані розміри хмарки суміші досягаються підбором геометричних параметрів форсунки.

Спеціальна форма паливної виїмки і рух поршня до ВМТ сприяють відхиленню руху крапель палива до свічки запалювання. Цей рух палива підтримується вихровим рухом повітря. У процесі руху до свічки запалювання паливо змішується з повітрям, що поступило в циліндр.

Процес сумішеутворення (рис. 10)

Для утворення пошарової суміші надається час, що відповідає повороту колінчастого вала на 40° – 50°. Від тривалості цього процесу залежить здатність суміші до займання. Якщо часу між впорскуванням і моментом подачі іскри занадто мало, суміш виявляється не підготовленою до займання. При занадто великому проміжку часу між цими процесами суміш розподіляється по усьому об’ємі камери згорання.

При виконанні вказаних умов у центрі камери згорання, тобто поблизу свічки, утворюється легкозаймиста суміш. Ця суміш оточена оболонкою, що складається зі свіжого повітря і відпрацьованих газів.

Загальний коефіцієнт надлишку повітря в камері згорання може бути при цьому рівний λ=1,6 – 3.

Процес згорання (рис. 11)

Суміш повинна запалюватися у кінці такту стиску в межах досить вузького кута повороту колінчастого вала, обмеженого моментом закінчення впорскування палива і проміжком часу, необхідного для утворення суміші.

Параметри «частота обертання колінчастого вала» і «крутний момент», визначають обмеження на умови роботи при пошаровому розподілі суміші. При занадто великому крутному моменті утворюються частки сажі за рахунок

локальних зон перезбагаченої суміші. При занадто високій частоті обертання колінчастого вала, через високу турбулентність суміші не може підтримуватися на необхідному рівні пошаровий розподіл і ефективне переміщення паливної суміші до свічки запалювання.

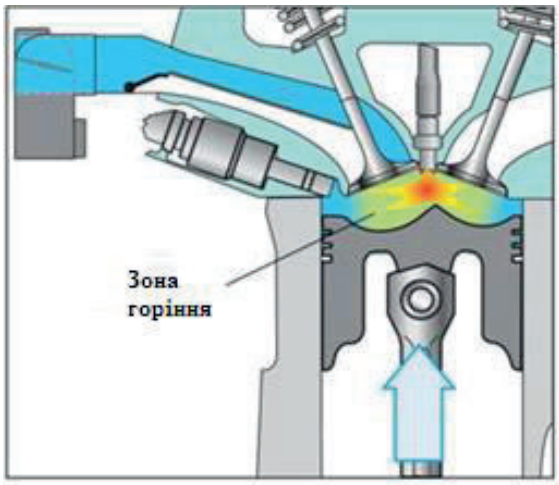


Рис. 11. Процес згорання при пошаровому розподілі суміші

Робота двигуна при гомогенному розподілі суміші

При високому крутному моменті і високій частоті обертання колінчастого вала двигун працює на гомогенній суміші при λ=1.

Роботу двигуна на гомогенній суміші стехіометричного складу можна порівняти з роботою двигуна з впорскуванням бензину у впускний трубопровід.

Крутний момент двигуна може бути змінений як зміщенням кута випередження запалювання (короткочасно), так і зміною маси повітря (довготривало), що поступає в циліндри. При цьому упорскується така кількість палива, яка потрібна для утворення стехіометричної суміші, коефіцієнт надлишку повітря якої дорівнює одиниці.

Процес впуску (рис. 12)

Дросельна заслінка відкривається відповідно до переміщення педалі акселератора. Впускна заслінка може бути відкрита або закрита, залежно від режиму роботи двигуна.

При часткових навантаженнях і в середньому діапазоні частот обертання ця заслінка закрита, потік повітря, що входить у циліндр, закручується, поліпшуючи сумішеутворення.

У міру збільшення навантаження і частоти обертання колінчастого вала доступ повітря тільки через верхню частину впускного каналу виявляється недостатнім. Тому заслінку повертають, відкриваючи нижню частину впускного каналу.

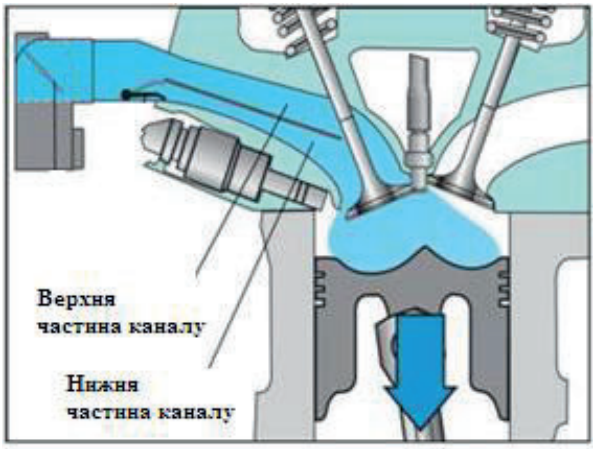


Рис. 12. Процес впускання при гомогенному розподілі суміші

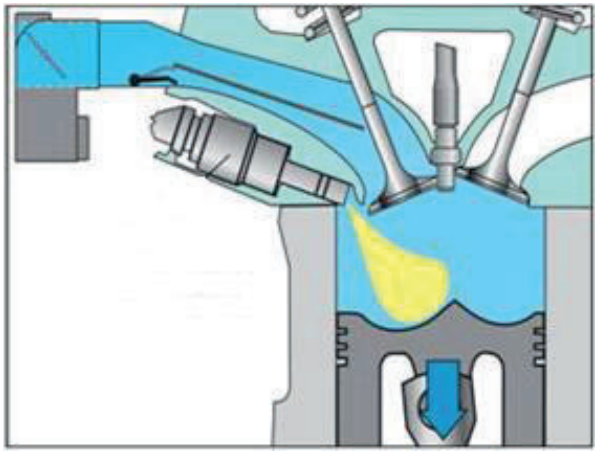


Рис. 13. Процес впорскування палива при гомогенному розподілі суміші

Впорскування палива (рис. 13)

Впорскування палива здійснюється безпосередньо в циліндр на такті впуску приблизно за 300° до ВМТ такту стиску.

Необхідне для випаровування палива тепло відбирається у повітря, що поступило в циліндр, внаслідок чого це повітря охолоджується. Завдяки цьому можна підвищити ступінь стиску, порівняно з двигунами з впорскуванням палива у впускні канали.

Процес сумішеутворення (рис. 14)

Оскільки впорскування палива відбувається на такті впуску, на процес сумішеутворення відводиться відносно багато часу. Паливо рівномірно розподіляється по усьому об’єму циліндра. Коефіцієнт надлишку повітря в камері згорання дорівнює одиниці.

Процес згорання (рис.15)

Крутний момент двигуна, витрата палива й викид шкідливих речовин при роботі на гомогенній суміші залежать від кута випередження запалювання.

Робота двигуна при гомогенно-збідненому розподілі суміші

Ця суміш використовується на режимах, які є в зоні багатопараметричної характеристики між режимами роботи двигуна при пошаровому сумішеутворенні й режимами його роботи на гомогенній суміші стехіометричного складу. Коефіцієнт надлишку повітря цієї суміші рівний практично 1,55. Двигун може ефективно працювати на цій суміші за тих самих умов, що вказані для пошарової суміші.

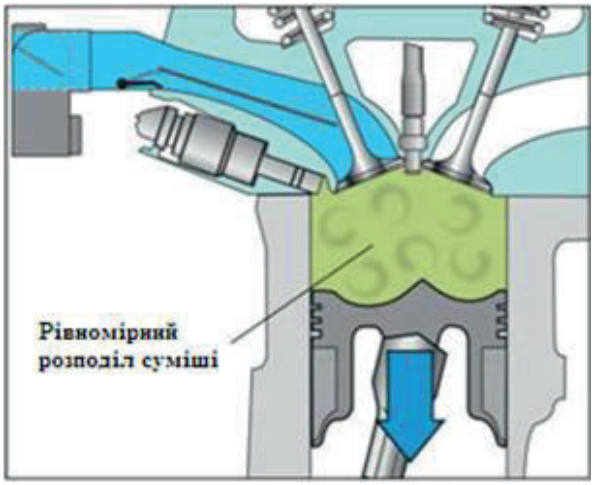


Рис. 14. Процес сумішеутворення при гомогенному розподілі суміші

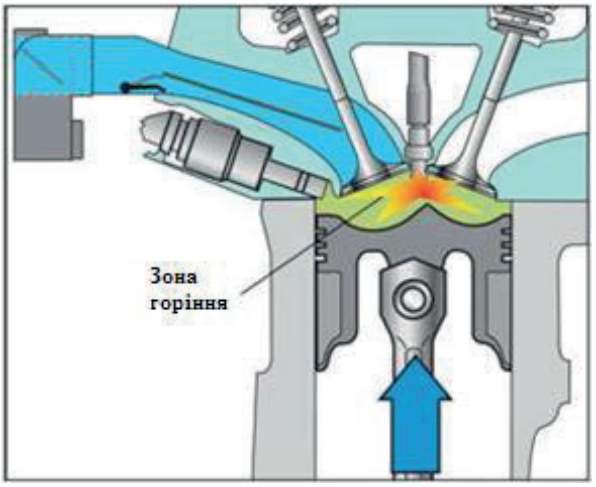


Рис. 15. Процес згорання суміші при гомогенному розподілі суміші

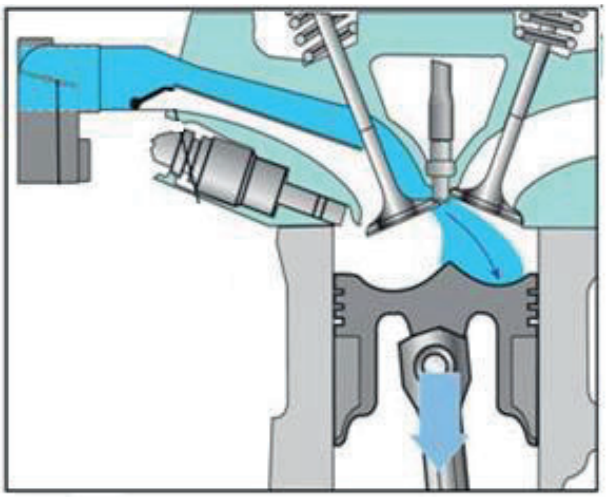


Рис. 16. Процес впуску при гомогенно-збідненому розподілі суміші

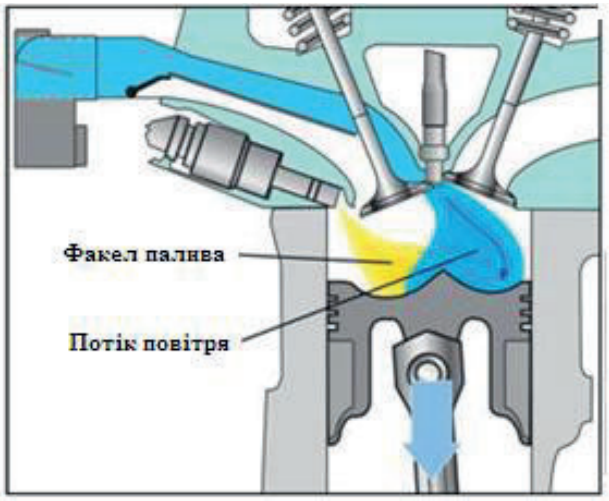


Рис. 17. Процес впорскування палива при гомогенно-збідненому розподілі суміші

Процес впуску (рис. 16)

Як при пошаровому сумішеутворенні, робота двигуна на бідній гомогенній суміші здійснюється з максимально відкритою дросельною заслінкою при закритих впускних заслінках. При цьому знижуються втрати на дроселювання і створюється інтенсивний рух повітря в циліндрі двигуна.

Процес впорскування палива (рис. 17)

Впорскування палива здійснюється безпосередньо в циліндр у процесі впуску. Він починається приблизно за 300° до ВМТ такту стиску. При цьому блок керування двигуном регулює подачу палива так, щоб коефіцієнт надлишку повітря дорівнював приблизно 1,55.

Процес сумішеутворення (рис. 18)

Завдяки ранньому моменту впорскування є досить багато часу до моменту запалювання для утворення гомогенної суміші в усьому об'ємі камери згорання.

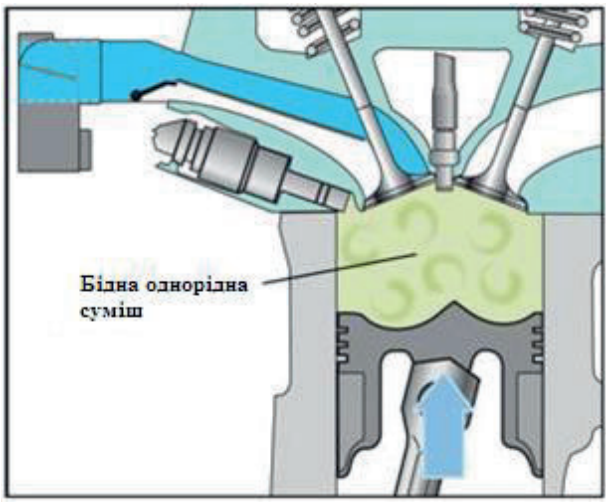


Рис. 18. Процес сумішеутворення при гомогенно-збідненому розподілі суміші

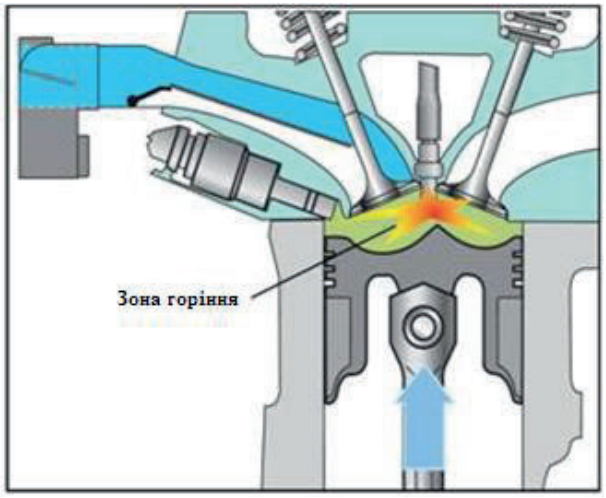


Рис. 19. Процес згорання при гомогенно-збідненому розподілі суміші

Процес згорання (рис. 19)

Як і при роботі на будь-якій гомогенній суміші момент запалювання не залежить від процесу сумішеутворення. Суміш горить при цьому в усьому об'ємі камери згорання.

Форсунка високого тиску

Форсунка високого тиску є перехідним пристроєм між паливною рейкою і камерою згорання. Завдання цієї форсунки полягає в тому, щоб забезпечувати дозування палива і шляхом його розпилювання домагатися контрольованого змішування палива і повітря в певній зоні камери згорання. Залежно від режиму роботи двигуна, паливо концентрується в зоні навколо свічки запалювання (пошаровий розподіл заряду) або рівномірно розпилюється по усій камері згорання (гомогенний розподіл заряду).

Форсунки встановлюються в головці блока циліндрів і фіксуються на ній за допомогою спеціальних кріпильних елементів.

Щоб отримати найкращий розподіл палива при пошаровому сумішеутворенні, кут конуса факела палива прийнятий рівним 70°, а вісь конуса нахилена на 20° (рис. 20).

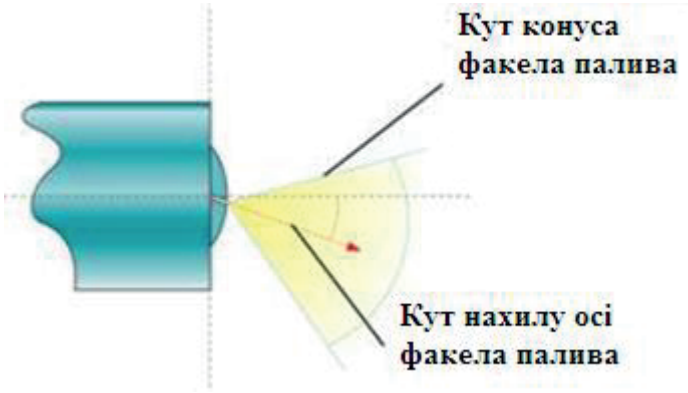


Рис. 20. Схема розпилювання палива форсункою

Форсунка високого тиску складається з таких елементів: корпуса, сідла 6, голки розпилювача 7 з якорем електромагніту, пружини 8, обмотки електромагніту 3.

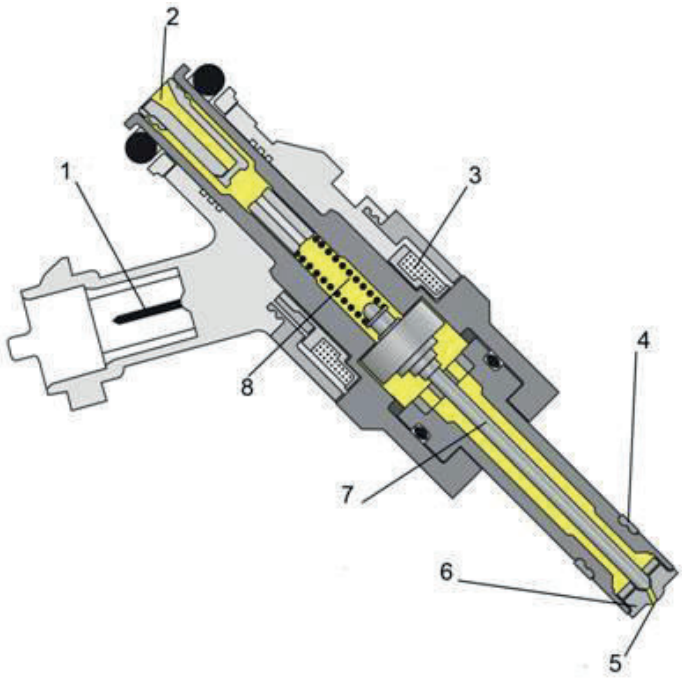


Рис. 21. Будова форсунки високого тиску:

1 – електричний роз'єм; 2 – впускний канал з сітчастим фільтром; 3 – обмотка електромагніту; 4 – тефлонове ущільнення; 5 – сопловий отвір; 6 – сідло; 7 – голка розпилювача з якорем електромагніту; 8 – пружина

Коли електричний струм проходить через обмотку електромагніту, створюється магнітне поле. Завдяки цьому голка, протидіючи тиску пружини, піднімається над сідлом і відкриває сопловий отвір 5 (рис. 21) форсунки. Різниці тиску між паливною рейкою і камерою згорання дає можливість впорскувати паливо в камеру згорання.

При відключенні електричного струму голка розпилювача під дією зусилля пружини опускається на сідло клапана і перериває потік палива.

Форсунка швидко відкривається, забезпечуючи при відкритті постійну площу поперечного перерізу отвору, і знову закривається, долаючи тиск у паливній рейці. Кількість палива (при цій площі поперечного перерізу отвору), що впорскується, залежить від тиску в паливній рейці, протитиску в камері згорання і тривалості відкриття форсунки. Відповідна геометрії розпилювача на кінці форсунки дає змогу досягти дуже добре розпилювання палива.

Нові перспективи для розвитку систем живлення з безпосереднім упорскуванням пов'язані з появою п'єзофорсунок, які спрацьовують у два рази швидше за класичні електромагнітні. Завдяки подібним форсункам можна максимально точно й швидко дозувати та розпилювати паливо. А це означає – оптимізувати процес пошарового сумішоутворення під час роботи двигуна на дуже бідних паливних сумішах. Безпосереднє впорскування бензину п'єзофорсунками зменшує витрати палива до 15% порівняно з сучасними системами впорскування у впускний трубопровід.

3. Завдання на лабораторну роботу

3.1. Вивчити загальну будову системи живлення з безпосереднім впорскування бензину.

3.2. Вивчити призначення основних агрегатів і вузлів системи.

3.3. Вивчити роботу системи при пошаровому розподілі паливної суміші.

3.4. Вивчити роботу системи при гомогенному розподілі суміші.

3.5. Вивчити роботу системи при гомогенно-збідненому розподілі суміші.

4. Завдання для звіту

4.1. Виконайте схему системи живлення з безпосереднім впорскуванням бензину.

4.2. Коротко опишіть роботу системи живлення з безпосереднім впорскуванням бензину.

5. Питання для самоконтролю

5.1. Опишіть загальну будову системи живлення з безпосереднім впорскуванням бензину.

5.2. Які відмінності у будові систем живлення з впорскуванням бензину у впускний трубопровід та у циліндр двигуна?

5.3. Які особливості будови поршнів двигунів з безпосереднім впорскуванням бензину?

5.4. Опишіть роботу системи з безпосереднім впорскуванням бензину при пошаровому розподілі паливної суміші.

5.5. Опишіть роботу системи з безпосереднім впорскуванням бензину при гомогенному розподілі паливної суміші.

5.6. Опишіть роботу системи з безпосереднім впорскуванням бензину при гомогенно-збідненому розподілі паливної суміші

6. Рекомендовані першоджерела

1. Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. – М. : Легион-Автодата, 2003. – 176 с.
2. Скварок Ю.Ю. Паливна апаратура двигунів: – курс лекцій. – Дрогобич : ШВИДКОДРУК, 2008. – 112 с.
3. http://www.audagena.lt/info/docs/279_dvig%202l%20FSI.pdf
4. http://www.audagena.lt/info/docs/351_dvig%203-V6%20TDI%20Common-Rail.pdf
5. http://systemsauto.ru
6. http://wiki.zr.ru

Лабораторна робота № 4

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ПАЛИВНИХ НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ

Мета: вивчити будову та принцип функціонування розподільних паливних насосів високого тиску (ПНВТ) з електронним керуванням.

Обладнання: стенд і схема розподільних паливних насосів високого тиску з електронним керуванням.

1. Питання для самопідготовки

1. Переваги систем живлення дизедьних двигунів з електронним керуванням подачею палива.
2. Будова та робота паливного насоса високого тиску розподільного типу з механічним регулюванням подачі палива.

2. Теоретичні відомості

Паливні насоси високого тиску розподільного типу ще називають аксіально-поршневими або одноплунжерними. Принцип роботи розподільного ПНВТ аксіально-поршневого типу з розподілом палива регулювальною втулкою зображений на рис. 1, а з радіальним рухом поршнів та електромагнітним клапаном регулювання подачею палива – на рис. 2. Загальна схема гідравлічного пристрою регулювання випередженням подачі палива подана на рис. 3.

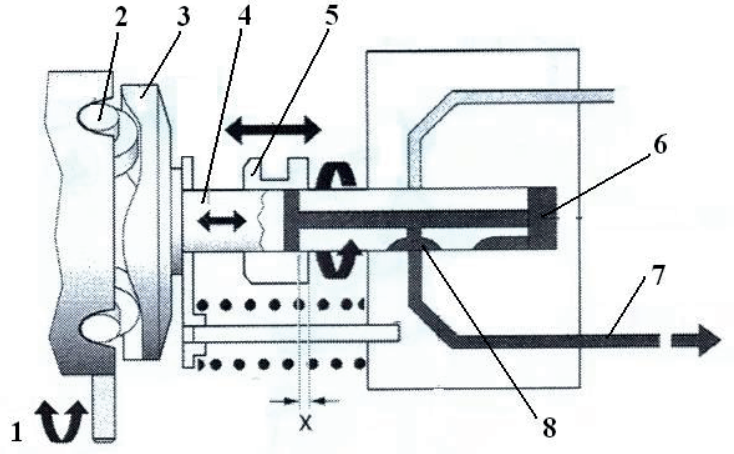


Рис. 1. Принцип роботи розподільного аксіально-поршневого ПНВТ:

1 – поворот роликового кільця; 2 – ролик; 3 – кулачкова шайба; 4 – плунжер-розподільник; 5 – регулювальна втулка; 6 – область високого тиску; 7 – магістраль високого тиску; 8 – розподільна камера; X – хід плунжера

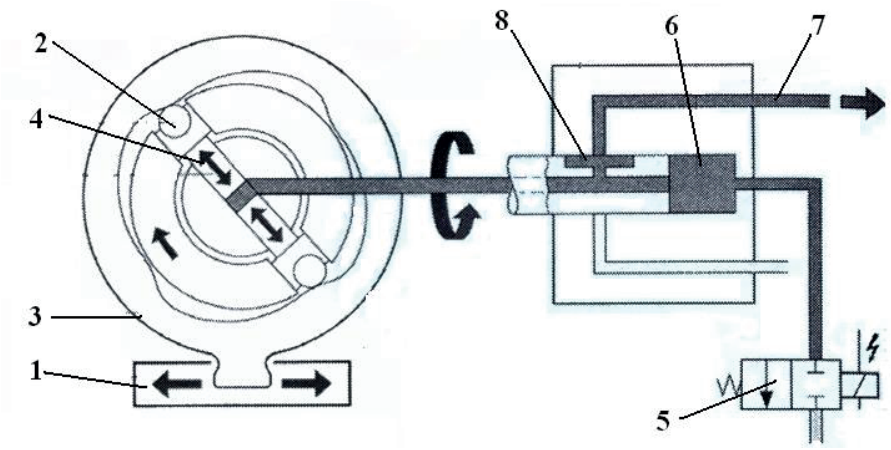
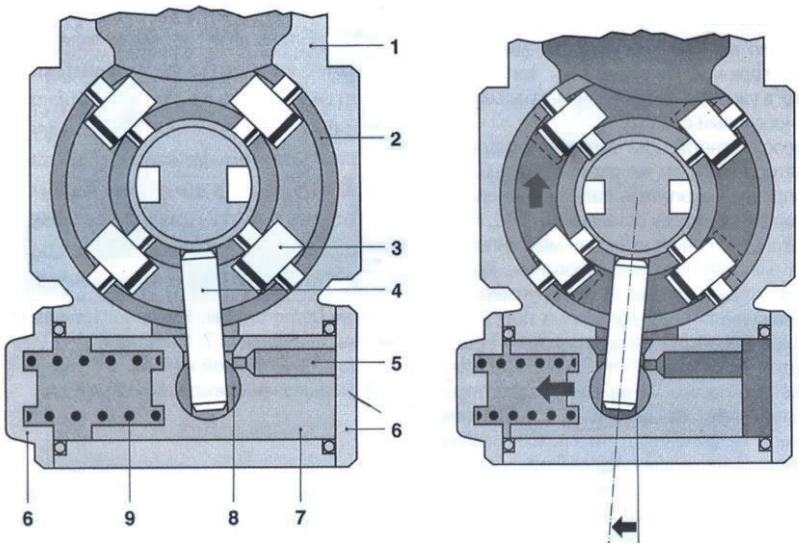


Рис. 2. Принцип роботи розподільного ПНВТ з радіальним рухом плунжерів:

1 – регулювальний механізм моменту впорскування палива; 2 – ролик; 3 – кулачкова шайба; 4 – радіальний плунжер; 5 – електромагнітний клапан регулювання початку і тривалості впорскування; 6 – камера високого тиску; 7 – подача палива до форсунки; 8 – розподільний паз



а б

Рис. 3. Гідравлічний пристрій регулювання випередженням впорскування палива розподільним ПНВТ (а – положення при пуску; б – положення при 3000 об/хв):

1 – корпус ПНВТ; 2 – шайба; 3 – ролик; 4 – палець; 5 – канал; 6 – кришка; 7 – поршень; 8 – опора; 9 – пружина

ПНВТ VE можуть обслуговувати дизелі з кількістю циліндрів 2, 4, 6, циліндровою потужністю – до 25 кВт, частотою обертання вала – до 5000 хв$^{-1}$,

тиском нагнітання до – 90 Мпа. Можлива комплектація: діаметр плунжера 8 – 12 мм, хід – 1,5 – 4 мм.

Загальний вигляд ПНВТ VE з механічним регулятором показаний на рис. 4, основні деталі насосної секції – на рис. 5. Позиції на цих рисунках однакові. Привідний вал, на якому розміщений роторно-лопатевий паливопідкачувальний насос 13 (рис. 4) і шестерня приводу автоматичного регулятора, приводить плунжер 5 в обертання через муфту 1, кулачкову шайбу 3, підп'ятник 4.

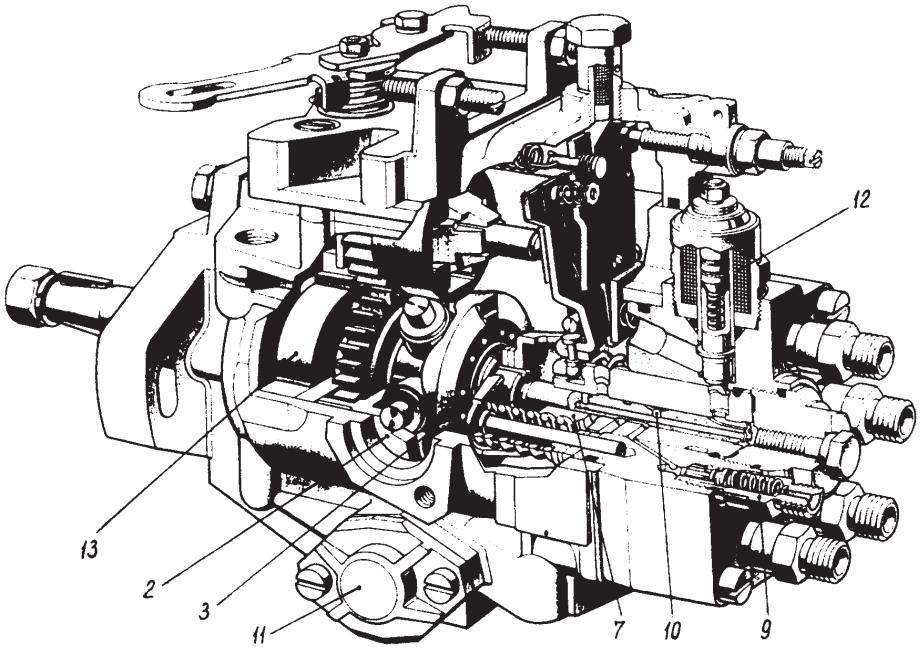


Рис. 4. ПНВТ VE фірми «R.Bosch» базової конструкції з механічним регулятором

Шайба 3 при обертанні котиться по роликах обойми 2, що допускає свій розворот навколо своєї осі за повідець автоматом регулювання кута випередження подачі палива (КВПП) (гідроциліндром, переміщуваним тиском підкачування палива, що залежить від частоти й циклової подачі). При зміні тиску підкачування від 0,27 до 0,8 Мпа хід гідропоршня досягає 9,4 мм, що забезпечує зміну КВПП до 12° за валом ПНВТ.

У початкове положення плунжер повертається пружинами 8 через планку 6. Регулювання циклової подачі здійснюється переміщенням муфти 7. У традиційній версії ПНВТ вона керується механічним автоматичним регулятором. Через розподільник 11 паливо подається до нагнітального клапана 9 (поз. 2 на рис. 6). Електромагнітний клапан 12 продовжує або припиняє роботу дизеля шляхом перекриття каналу наповнення плунжерної порожнини. Фази роботи ПНВТ пояснює рис. 7.

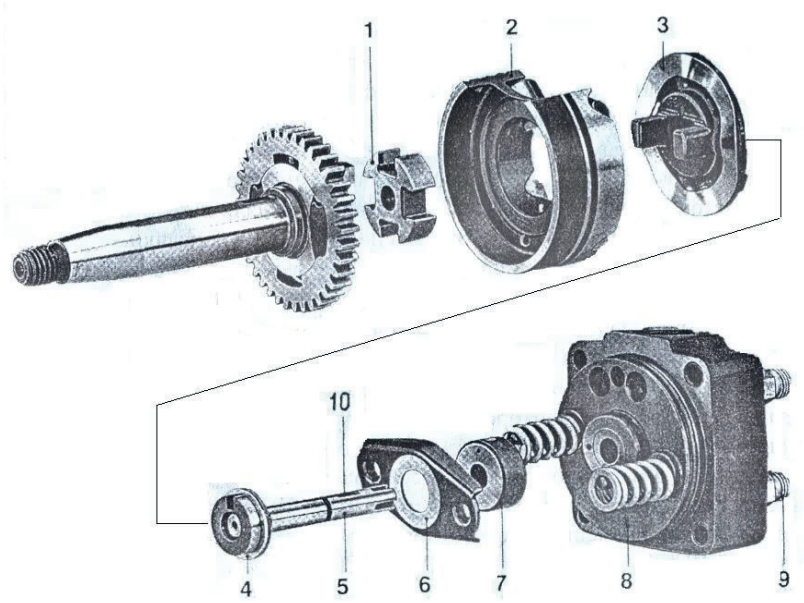


Рис.5. Деталі насосної секції ПНВТ VE

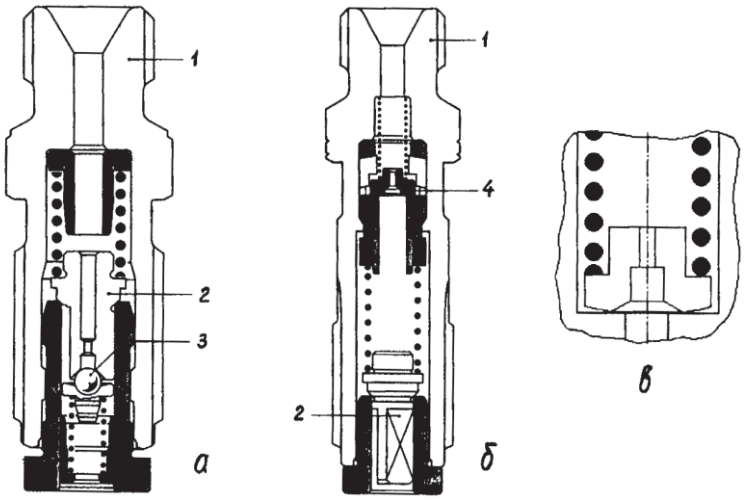


Рис. 6. Нагнітальні клапани ПНВТ VE

Виробництво насосів починалося для дизелів з вихоровими камерами з максимальним тиском впорскування 30 – 40 Мпа. У міру інтенсифікації паливоподачі змінювалася робота нагнітальних клапанів.

Замість традиційного грибкового клапана (рис. 4) для усунення повторного впорскування у штуцері 1 (рис. 6, а) встановлювався комбінований клапан (з кульковим клапаном 3, що зливає паливо після закриття нагнітального клапана 2). Вищий залишковий тиск дає змогу одержати гасіння повторного впорскування шляхом згладжування хвилі від гідроудару (рис. 6, б). У цьому випадку швидкість закриття нагнітального клапана 2 знижується тому, що паливо дроселює допоміжний клапан 4. При нагнітанні палива, відкриваючись, він не перешкоджає проходу палива.

Нарешті, для інтенсивного впорскування застосований простий плоский клапан з дроселем для демпфування гідроудару. Проте з урахуванням обмеженості фаз розподільника наявність цього дроселя не гарантує рівності залишкового тиску й тиску підкачування.

Електронне керування в ПНВТ VE здійснюється простіше, зважаючи на наявність вбудованого автомата КВПП і менших перестановочних зусиль (рис. 8), було упроваджене у виробництво ще в 1984 р. Як і раніше, активний хід плунжера 4 регулюється муфтою 6, але вона переміщається ексцентриком на вала поворотного пропорційного електромагніту 2 на кут до 60. Його поворот контролюється датчиком 1, а клапан дозволу роботи 3 тепер живиться від блока керування. Електрокерування введене і в регулятор КВПП. Тепер тиск у гідроциліндрі обумовлюється відношенням часу циклу роботи електроклапана 5 до часу його відкриття. Цей механізм використаний в сучасних ПНВТ фірми VP-30, YP-37 (рис. 9).

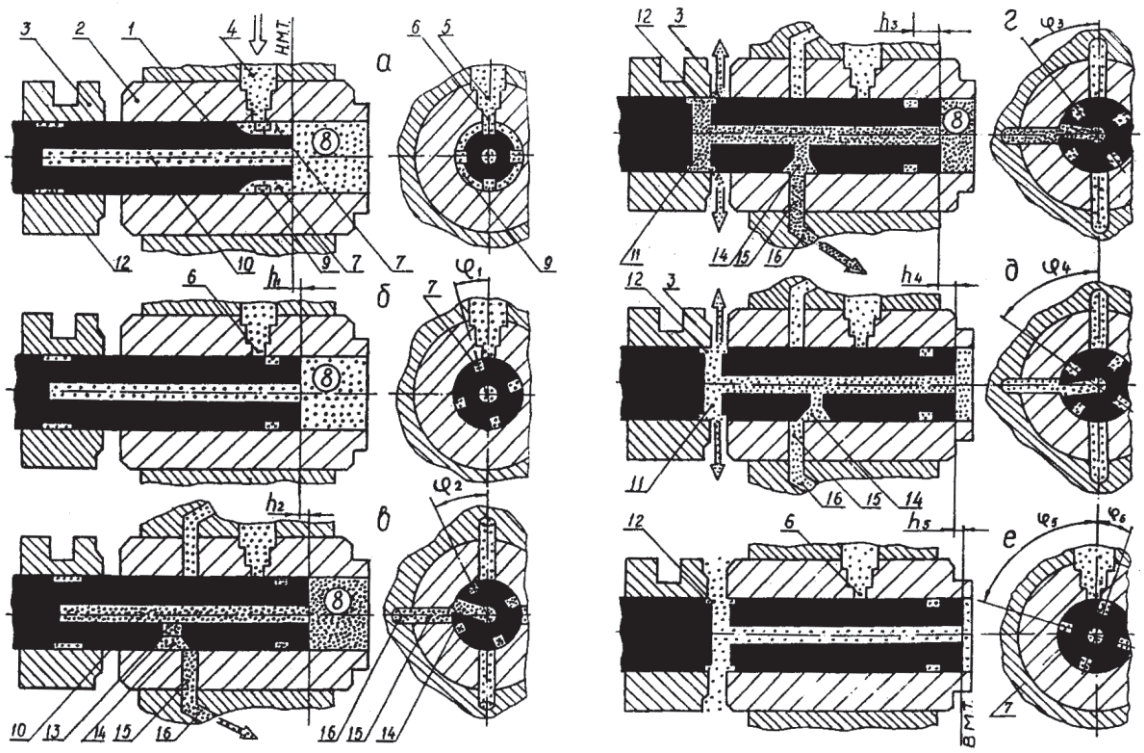


Рис. 7. Фази розподілу палива в насосі ПНВТ VE:

а – наповнення; б – початок стиску; в – нагнітання; г – початок відсікання; д – розвантаження паливопроводу; е – стабілізація тиску

Електронна система керування (СК) з насосом VE зображена на рис. 10. Педаль акселератора водія є лише одним з датчиків СК. Вона, по суті, є вже СК двигуна, регулює тиск наддуву, рециркуляцію відпрацьованих газів (заслінкою перепуску), прискорювач пуску і прогрівання, що також зменшує шум на малих навантаженнях (заслінкою на впусканні). У сучасніших системах появилися

датчики температури й тиску атмосферного повітря і повітря наддуву, швидкості автомобіля, органів керування зчепленням і гальмами. Деякі датчики переміщені в ПНВТ.

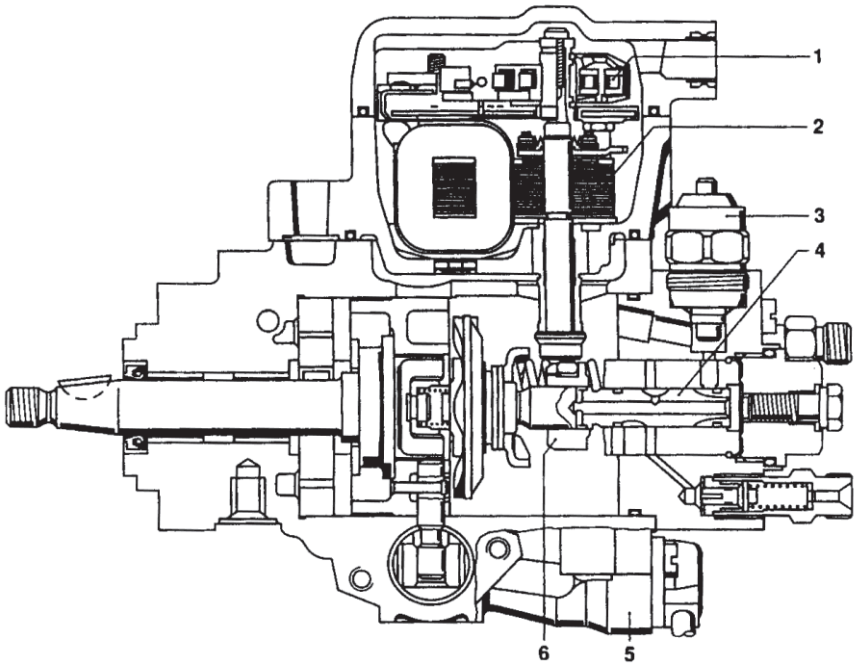


Рис. 8. ПНВТ VE з електронним керуванням

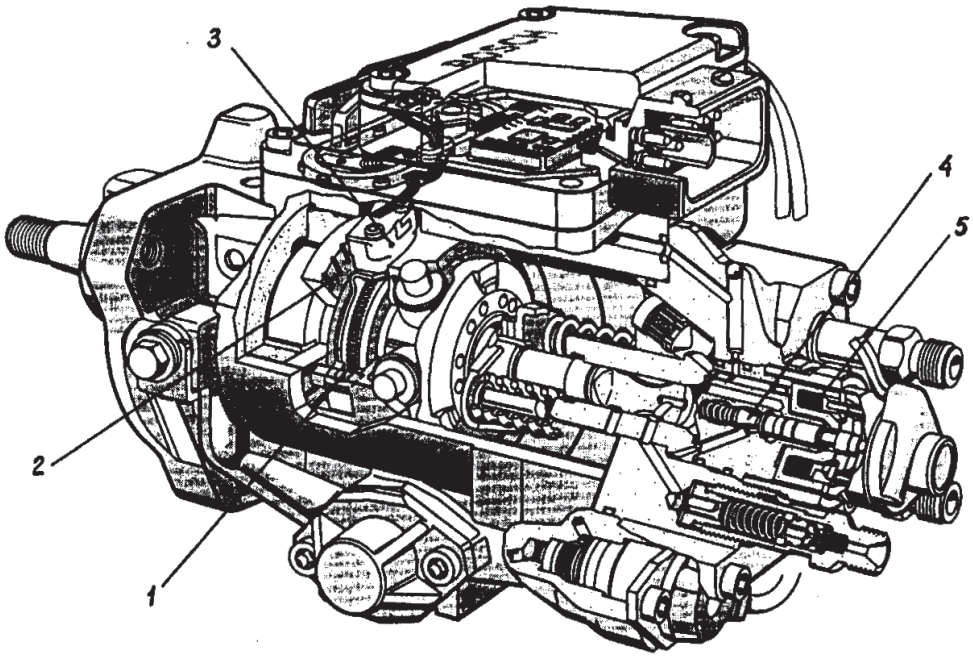


Рис. 9. ПНВТ VP-30 (VP-37) з електронним керуванням

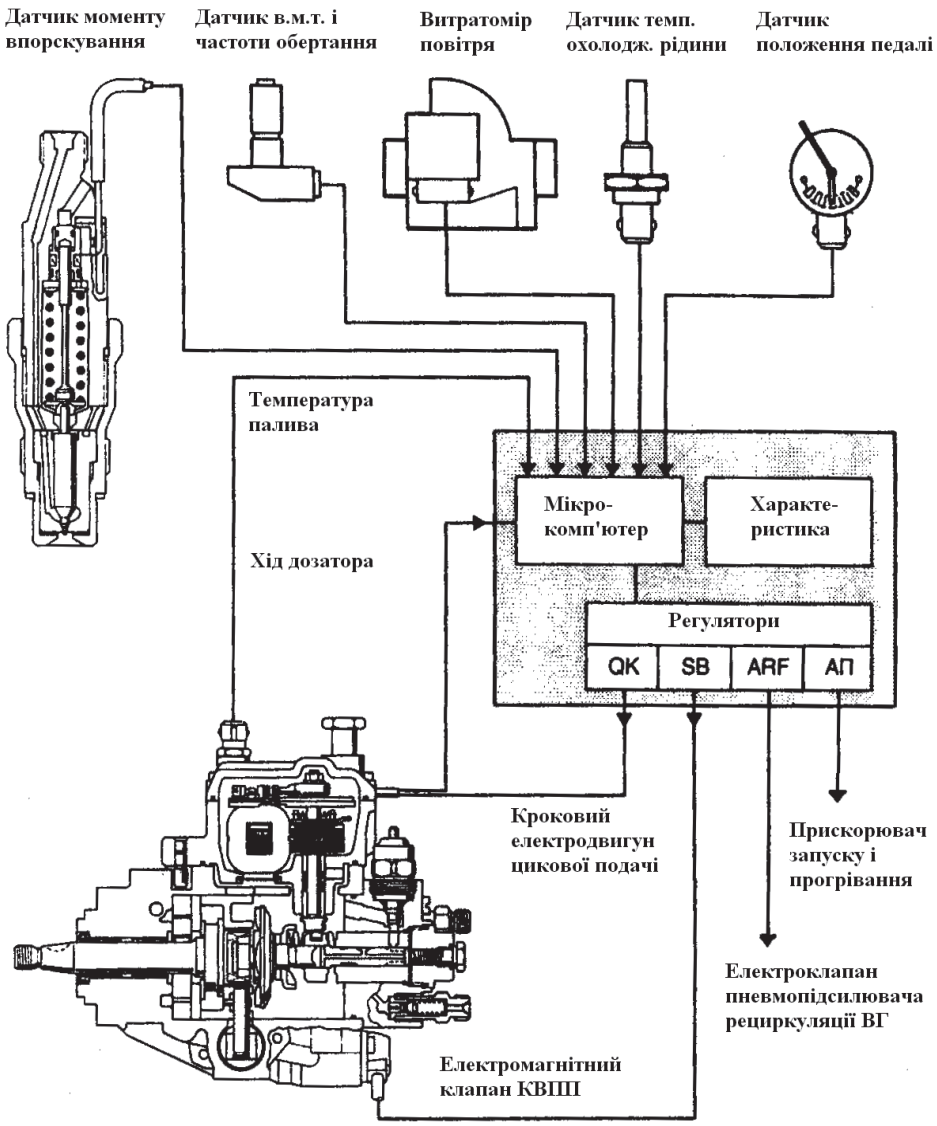


Рис. 10. Схема електронного керування дизеля легкового автомобіля з ПНВТ VE

Подальший розвиток ПНВТ VE пов’язаний з переходом на систему регулювання циклової подачі за допомогою клапана – золотника 4, керованого швидкодійним електромагнітним приводом 5 (рис. 9). Заміна ним регулювальної муфти плунжера здешевило виробництво прецизійних механічних елементів, дало змогу індивідуалізувати подачу за циліндрами і навіть здійснювати двофазну подачу. Такі ПНВТ фірма випускає під марками VP-37 і VP-30.

Точне регулювання початку впорскування і його тривалості досягається використанням вбудованого в насос датчика 3 (рис. 9) положення вала. Це дає можливість відмовитися від використання датчика підйому голки першої форсунки.

Максимальний тиск впорскування, що досягається за допомогою ПНВТ VP-30, вищий – до 150 Мпа. Проте ресурс цієї конструктивної схеми за напруженнями у складному кулачковому приводі практично вичерпаний, на цьому вдосконалення ПНВТ VE фірма «R.BOSCH», в основному, закінчила. Водночас пристрої керування подачею і КВПП перейшли в ПНВТ нового покоління – VP-44.

Для дизелів кінця 90-их років з відкритою камерою згорання і частотою обертання 4000-4500 хв$^{-1}$ фірма «R.BOSCH» випускає двопружинні форсунки (рис. 11, а). Вони покликані забезпечити ступінчастість переднього фронту характеристики впорскування через швидше відкриття голки 12 за першою пружиною 3, що замикає її через тарілку 4 і шток 7. При подальшому підвищенні тиску голка вибирає зазор між верхнім торцем і заглибленням в нижньому торці втулки 11. Тоді через неї і тарілку 8 голка стискає другу пружину 6. Хід за другою пружиною обмежується упором буртика втулки 11 в проставку 10.

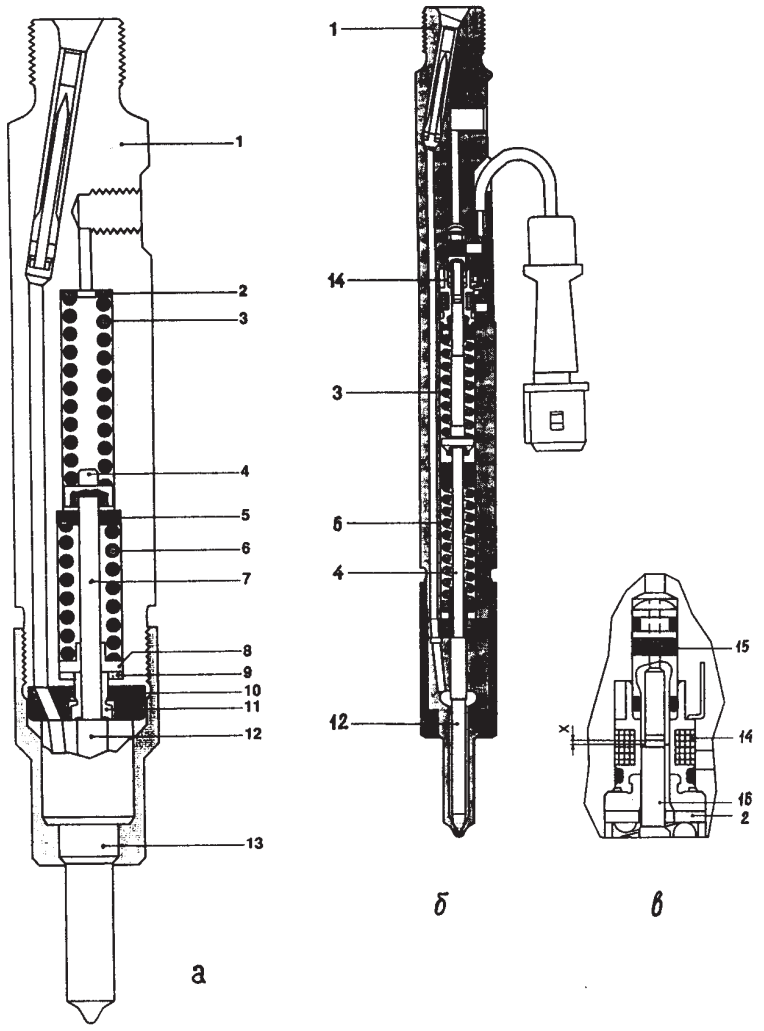


Рис. 11. Двопружинні форсунки R.Bosch:

а – 2 – 4-го циліндрів; б – 1-го циліндра; в – датчик піднімання голки

Хід голки за першою пружиною – 0,07 мм, за другою – 0,275 мм, тиск початку впорскування за першою – 20,5 Мпа, другою – 42 Мпа. Регулювання затягування пружин забезпечується шайбами 2 і 5.

Недоліками форсунки є втрати напору в замковому конусі і залежність режимів роботи дизеля від тиску впорскування. На сьогодні реальною перевагою форсунки є значне зниження шумності роботи дизеля на холостому ході та малих навантаженнях.

Двопружинні форсунки використовуються у паливні апаратурі інтенсивного впорскування. У дизелях з відкритою камерою згорання для рівномірного розподілу палива форсунки намагаються встановлювати центрально й вертикально. Для паливної апаратури з електронним керуванням випускаються двопружинні форсунки з датчиком 14 підйому голки (рис. 11, б, в). У цьому випадку подовжена штанга 4 є рухомим осердям 16 індукційного датчика. Заспокоювач 15 радіального биття перешкоджає утворенню шумів сигналу.

3. Завдання на лабораторну роботу

3.1. Вивчити загальну будову та роботу розподільного ПНВТ аксіально-поршневого типу з розподілом палива регулювальною втулкою та з радіальним рухом плунжерів.

3.2. Вивчити принцип розподілу палива розподільним ПНВТ аксіально-поршневого типу з регулювальною втулкою та електромагнітним клапаном.

3.3. Вивчити будову та роботу пристрою для регулювання випередження впорсквання палива.

3.4. Вивчити призначення, будову та роботу двопружинної форсунки.

4. Завдання для звіту

4.1. Виконайте схеми розподільних ПНВТ з регулювальною втулкою та радіальним рухом плунжерів.

4.2. Виконайте схему електронного керування дизеля легкового автомобіля з ПНВТ VE та опишіть призначення основних елементів.

5. Питання для самоконтролю

5.1. Опишіть принцип роботи розподільного аксіально-поршневого ПНВТ з регулювальною втулкою.

5.2. Опишіть принцип розподільного ПНВТ з радіальним рухом плунжерів.

5.3. Опишіть будову та роботу гідравлічного пристрою регулювання випередження впорскування палива.

5.4. Опишіть фази розподілу палива в ПНВТ з регулювальною втулкою.

5.5. Опишіть схему електронного керування подачею плива розподільним ПНВТ.

6. Рекомендовані першоджерела

1. Грехов Л. В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. – М. : Легион-Автодата, 2003. – 176 с.
2. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: – учебник для вузов. – М. : Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей / Ефимов С. И., Иващенко Н. А., Ивин В. И. и др.; под общ. ред. Орлина С. А., Круглова М. Г. – М. : Машиностроение, 1985. – 456 с.
4. Скварок Ю.Ю. Паливна апаратура двигунів: – курс лекцій. – Дрогобич : ШВИДКОДРУК, 2008. – 112 с.

Лабораторна робота № 5

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА РОБОТИ НАСОС-ФОРСУНОК З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ

Мета: вивчити будову та принцип функціонування насос-форсунок з електронним керуванням.

Обладнання: стенд в схема насос-форсунок з електронним керуванням.

1. Питання для самопідготовки

1. Загальна будова насос-форсунки з механічним керуванням подачею палива.
2. Переваги систем живлення з насос-форсунками.

2. Теоретичні відомості

Підвищення інтересу до насос-форсунок останніми роками було спричинене їхньою відповідністю (при максимальній простоті конструкції) до двох найважливіших тенденцій вдосконалення паливної апаратури: інтенсифікації впорскування і введення електронного керування. Переваги насос-форсунок: підвищення тиску впорскування шляхом мінімізації об'ємів палива, що стискається, відсутність підвпорскування, зменшення номенклатури деталей, різке відсічення подачі, менше закоксовування і більший ресурс розпилювача, менші витрати потужності, відсутність необхідності в нагнітальному клапані, зниження запізнювання впорскування щодо нагнітання плунжера, що зменшує розкид КВПП за частотами обертання і зменшує потрібний діапазон його регулювання.

Насос-форсунки забезпечують відносно пологий передній фронт подачі палива і різкіший задній. Це сприяє зниженню жорсткості згорання, шумності, викидів NO_x, отриманню великих крапель в кінці впорскування, зниженню сажоутворення.

Сьогодні насос-форсунки використовуються у дизелях з діаметром циліндра 67 – 300 мм.

Обмежували застосування насос-форсунок недоліки: ускладнені умови компоновки головки, збільшений діаметр форсунки, більше зниження тиску впорскування на часткових режимах роботи, ускладнені та менш точні умови регулювання рівномірності подачі по циліндрах, ускладнення приводу рейок і спеціального приводу автоматичного регулятора. У зв'язку з використанням електронного керування, кількість переваг зросла, а недоліків – зменшилася. Так, плунжерна пара максимально спростилася, зник механізм повороту плунжера, рейкова тяга й індивідуальний автоматичний регулятор, відпала

необхідність вирівнювання подачі по циліндрах при регулюванні, виникла можливість забезпечення двофазної подачі, регулювання КВПП, а тому підвищилися економічність, надійність пуску, знизилася емісія ВГ. Зниження тиску впорскування компенсується загальною інтенсифікацією подачі.

Насос-форсунки розташовані безпосередньо в головці блока.

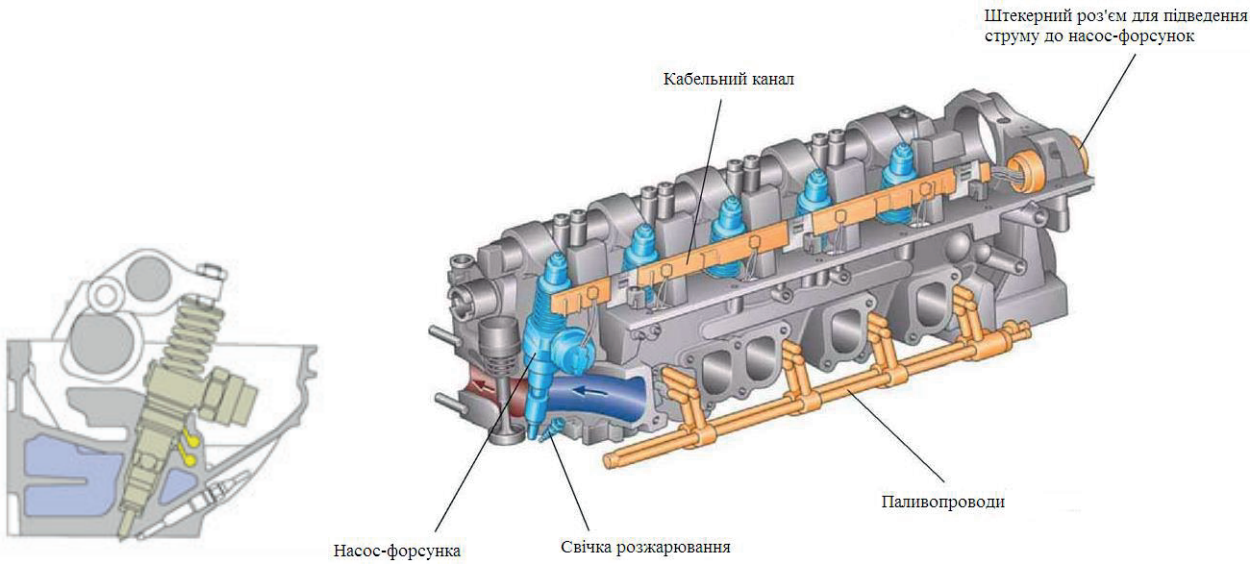


Рис. 1. Розміщення насос-форсунки

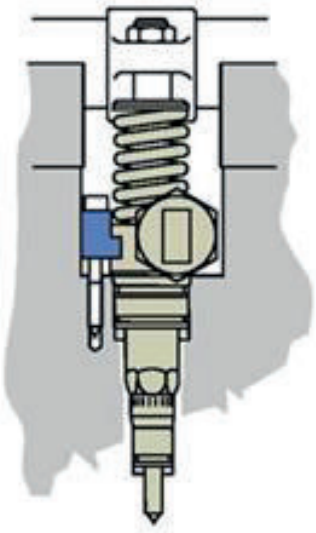


Рис. 2. Кріплення насос-форсунки

Насос-форсунки кріпляться у головці блока. При установці насос-форсунок необхідно стежити за правильним їхнім положенням.

Якщо насос-форсунка не стоїть під прямим кутом до головки блока, може послабитися кріпильний болт. Унаслідок цього можливе пошкодження як насос-форсунки, так і головки блока.

На розподільному вала є кулачки для приводу насос-форсунок. За допомогою коромисел зусилля передається на плунжери насос-форсунок.

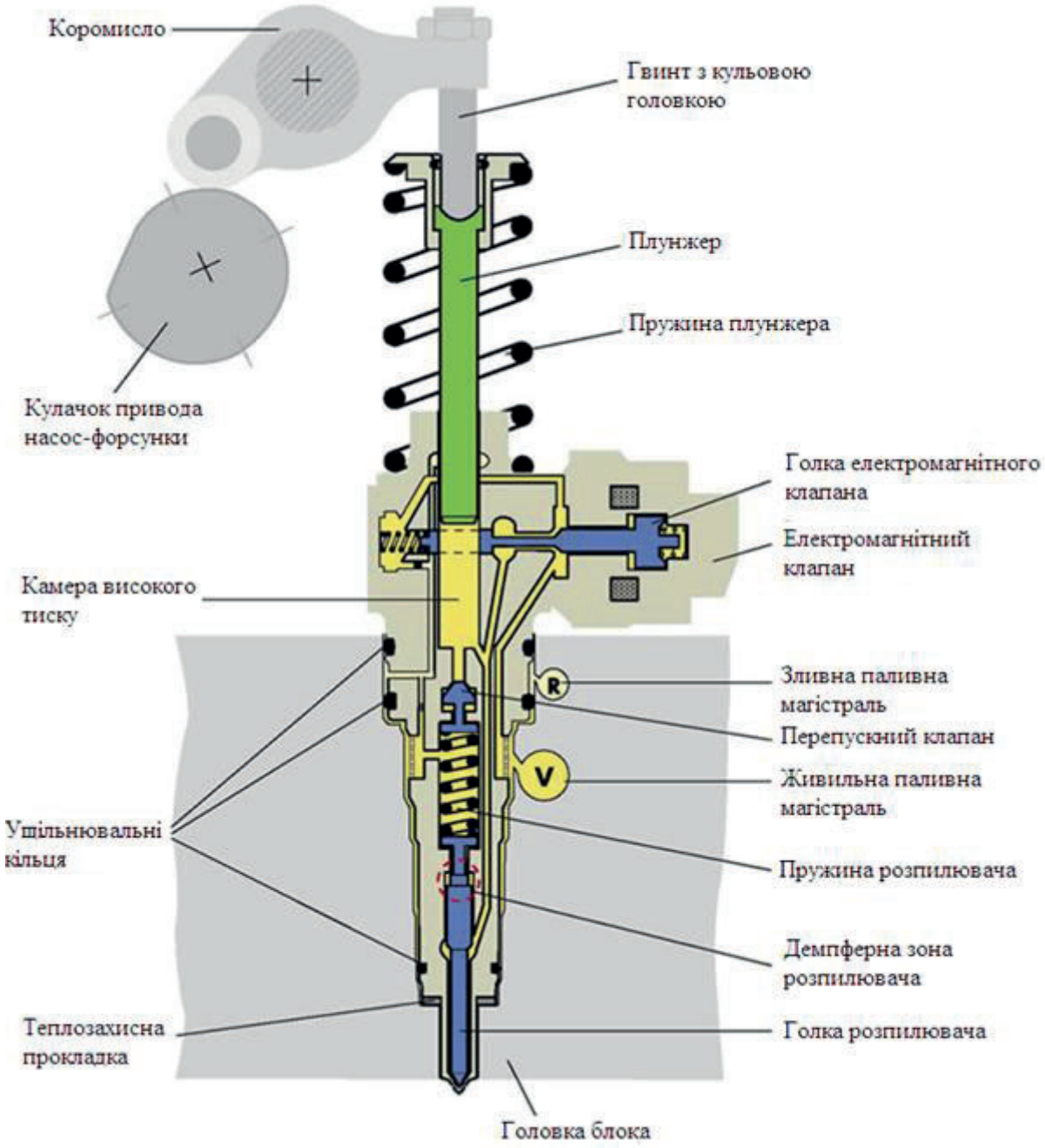


Рис. 3. Будова насос-форсунки

Вимоги до процесів сумішеутворения і згорання

Обов'язковою умовою ефективного згорання є добре сумішеутворення. Для цього паливо повинно подаватися у циліндр в потрібній кількості, в потрібний момент і під високим тиском. Уже при незначних відхиленнях від необхідних параметрів подачі палива відзначається збільшення вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах, підвищення шумності процесу згорання і збільшення витрати палива. Важливим моментом для процесу згорання в дизельному двигуні є мала величина періоду затримки самозаймання. Затримка самозаймання є проміжком часу між початком

впорскування палива і початком підвищення тиску в камері згорання. Якщо в цей часовий проміжок подається велика кількість палива, то це веде до різкого підвищення тиску в камері згорання і, тим самим, до збільшення рівня шуму процесу згорання.

Попереднє впорскування

Для досягнення максимально можливої плавності протікання процесу згорання перед основним впорскуванням здійснюється попереднє впорскування малої кількості палива під невеликим тиском. Завдяки згоранню цієї малої кількості палива в камері згорання підвищуються тиск і температура. Унаслідок цього відбувається прискорене самозаймання палива, поданого в ході основного впорскування. Попереднє впорскування і наявність паузи між попереднім і основним впорскуванням сприяє тому, що тиск у камері згорання підвищується не стрибкоподібно, а відносно рівномірно. У результаті досягається зниження шумності процесу згорання і зменшення емісії оксидів азоту.

Основне впорскування

При основному впорскуванні необхідно досягти хорошого сумішеутворення для можливо повного згорання палива. Завдяки високому тиску впорскування досягається дуже тонке розпилювання палива, що дає змогу отримати дуже рівномірну суміш палива і повітря. Повне згорання палива забезпечує зменшення викиду шкідливих речовин і підвищення потужності двигуна.

Кінець впорскування палива

Для хорошої роботи двигуна важливо, щоб у кінці процесу впорскування тиск впорскування різко впав, а голка розпилювача швидко повернулася в початкове положення. Це запобігає попадання палива в камеру згорання під низьким тиском з поганим розпилюванням. Таке паливо згорає не повністю, що веде до збільшення токсичності вихлопу.

У процесі заповнення камери високого тиску плунжер під дією пружини рухається догори, що веде до збільшення об'єму камери. Електромагнітний клапан керування насос-форсункою не діє. Голка клапана розміщена в положенні, що відкриває шлях паливу з живлячої магістралі в камеру високого тиску. Паливо під тиском поступає з живильної магістралі в камеру високого тиску.

Процес впорскування

Кулачок розподільного вала через коромисло підтискає плунжер донизу; плунжер, своєю чергою, витискає паливо з камери високого тиску в живильну магістраль. Протікання процесу впорскування палива відбувається під контролем блока керування двигуном через електромагнітний клапан. За

сигналом від блока керування двигуном голка електромагнітного клапана притискається до сідла, перекриваючи шлях паливу з камери високого тиску в живильну магістраль. Унаслідок цього відбувається підвищення тиску в камері. Коли тиск досягає 180 бар, він стає вищим, ніж зусилля пружини розпилювача. Голка розпилювача піднімається і починається попереднє впорскування.

У процесі попереднього впорскування хід голки розпилювача демпферується гідравлічним буфером, що дає можливість точно дозувати кількість палива.

Це відбувається так: на першій третині ходу ніщо не заважає ходу голки. При цьому в камеру згорання заздалегідь упорскує паливо.

Як тільки демпферний клапан почне переміщатися по свердлінню корпуса розпилювача, паливо над голкою розпилювача зможе поступати під тиском в зону розміщення пружини тільки через зазор знизу демпферного клапана. У результаті цього виникає гідравлічний буфер, який обмежує хід голки розпилювача при попередньому впорскуванні.

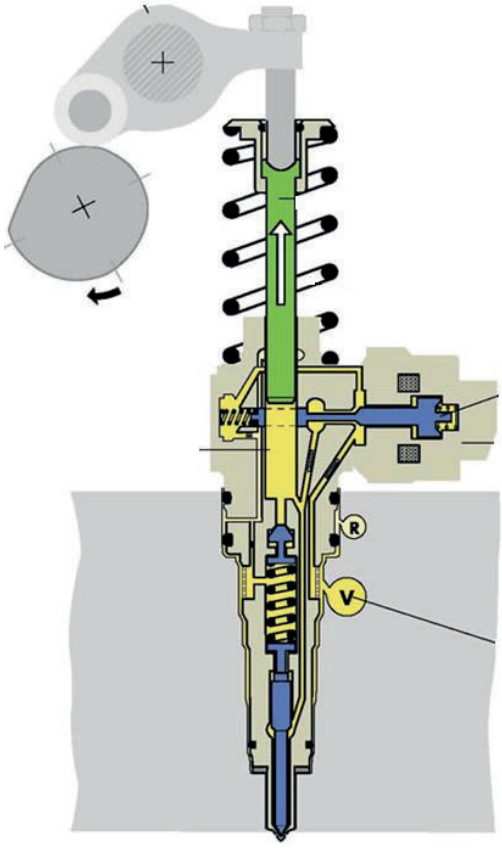


Рис. 4. Заповнення камери високого тиску

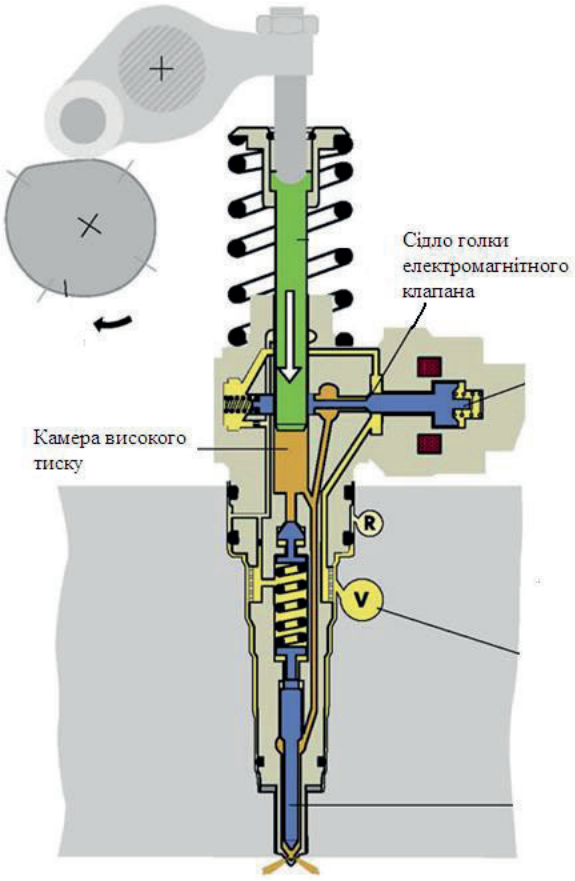


Рис. 5. Початок попереднього впорскування

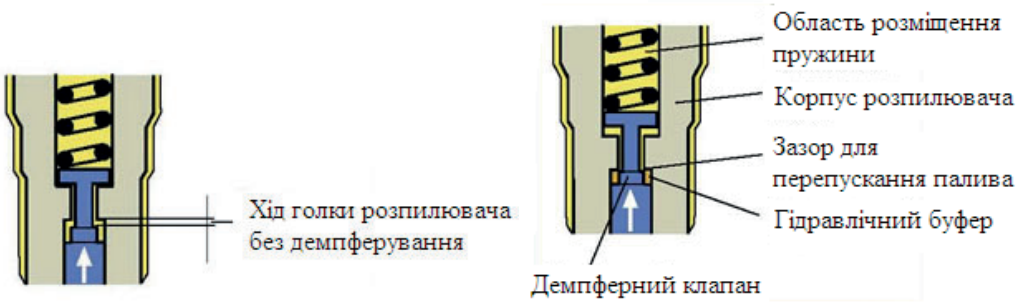


Рис. 6. Демпферування ходу голки розпилювача

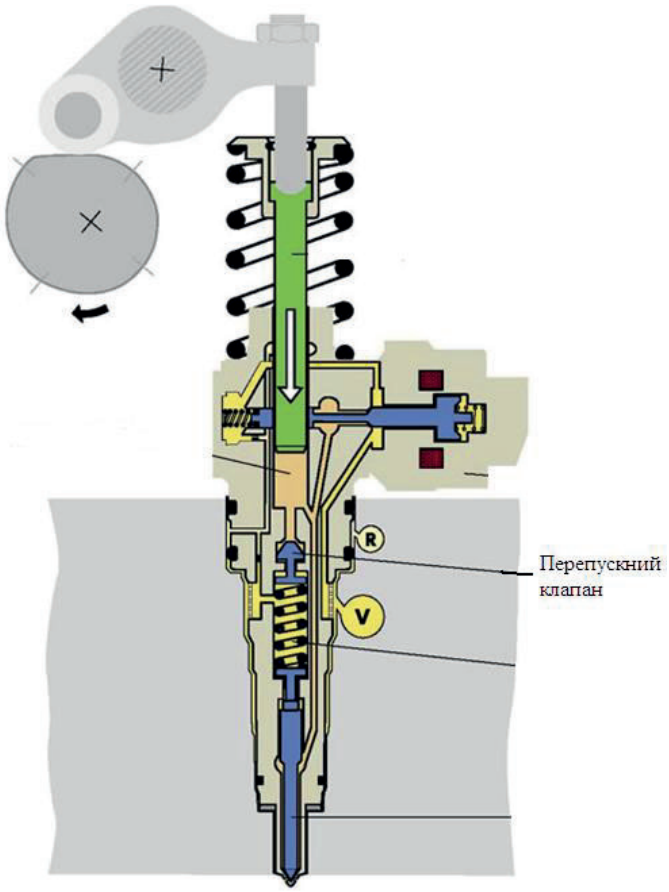


Рис. 7. Кінець попереднього впорскування

Безпосередньо після відкриття голки форсунки закінчується попереднє впорскування. Під дією тиску, що збільшується, перепускний клапан рухається донизу, тим самим збільшуючи об'єм камери високого тиску. У результаті тиск на короткий час падає і голка форсунки закривається. Попереднє впорскування закінчилося. Унаслідок руху донизу перепускного клапана пружина розпилювача стискується сильніше. Тому для повторного відкриття голки форсунки при наступному основному впорскуванні потрібний тиск палива більший, ніж при попередньому впорскуванні.

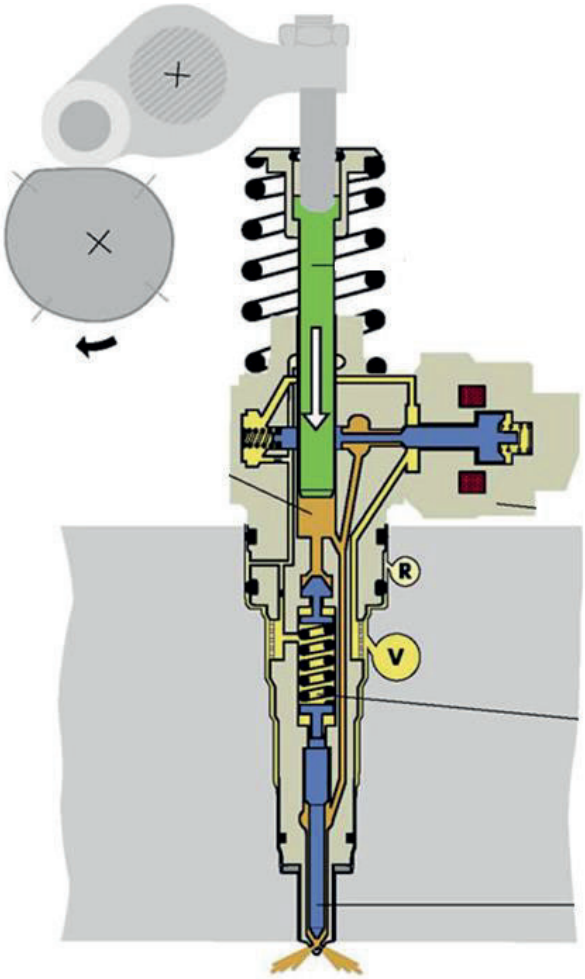


Рис. 8. Початок основного впорскування

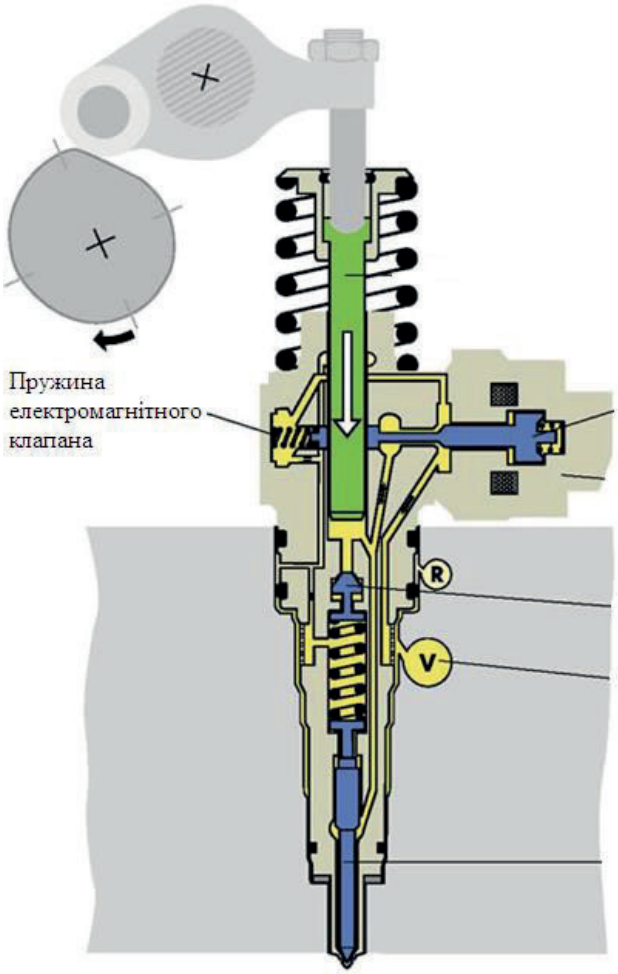


Рис. 9. Кінець основного впорскування

Безпосередньо після закриття голки розпилювача тиск в камері високого тиску знову зростає. Електромагнітний клапан закритий і поршень насос-форсунки рухається вниз. Коли тиск досягає приблизно 300 бар, він стає більшим, ніж тиск пружини розпилювача. Голка розпилювача знову піднімається і в камеру згорання упорскується основна порція палива.

Тиск при цьому піднімається до 2050 бар, оскільки в камері високого тиску стискається більша кількість палива, ніж може вийти через розпилювач. При досягненні двигуном максимальної потужності, а також при найбільшому крутному моменті і одночасно найбільшій кількості впорскуваного палива тиск максимальний.

Кінець впорскування настає, коли з блока керування двигуна перестає поступати сигнал на електромагнітний клапан.

При цьому голка клапана під дією пружини відходить від сідла, і стиснене плунжером паливо може поступати в живильну магістраль. Тиск палива падає. Голка розпилювача закривається, і перепускний клапан під дією

пружини розпилювача повертається у початкове положення. Основне впорскування закінчилося.

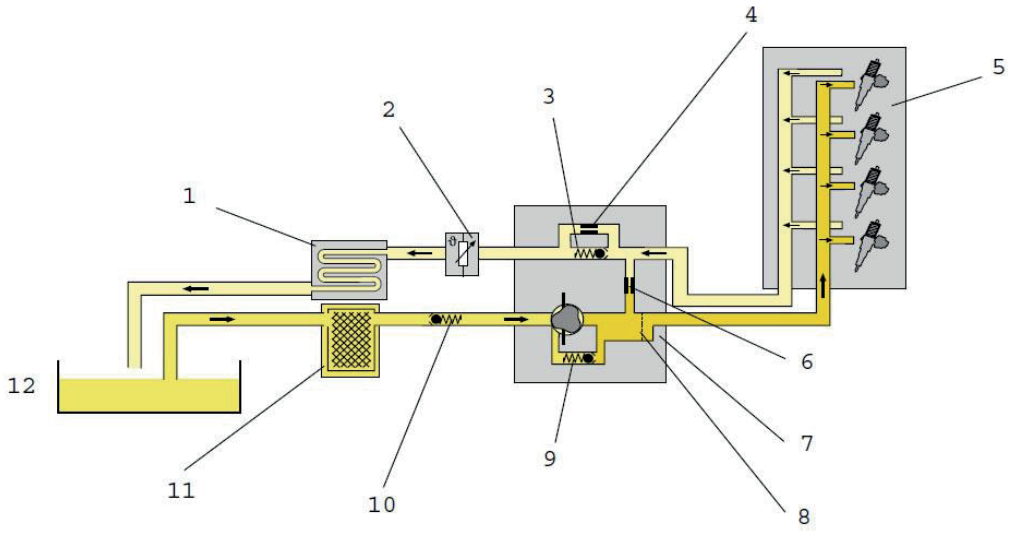


Рис. 10. Схема паливного контура

Паливо засмоктується механічним паливним насосом через фільтр з паливного бака і подається по живильній магістралі в головці блока до насос-форсунок. Надмірне паливо подається назад у паливний бак через зливну магістраль в головці блока, датчик температури палива і охолоджувач палива.

1. Охолоджувач палива охолоджує паливо, що зливається, для попередження попадання в паливний бак занадто гарячого палива.
2. Датчик температури палива визначає температуру палива в зливній магістралі і посилає відповідний сигнал блока керування двигуном.
3. Обмежувальний клапан підтримує тиск у зливній магістралі на рівні 1 бар. Завдяки цьому досягається постійність тиску палива на голці електромагнітного клапана.
4. Байпас. Якщо в паливній системі є повітря, наприклад при порожньому паливному баці, обмежувальний клапан залишається закритим. Повітря видавлюється паливом, що поступає з системи.
5. Головка блока.
6. Через дросельний отвір відводяться пари палива, які можуть бути в живильній магістралі.
7. Паливний насос подає паливо з паливного бака через фільтр до насос-форсунок.
8. Сітка-фільтр уловлює бульбашки повітря і газів у живильній магістралі. Потім вони відводяться через дросельний отвір і зливну магістраль.

9. Обмежувальний клапан регулює тиск палива в живильній магістралі. При тиску палива більше 7,5 бар клапан відкривається і паливо прямує в зону всмоктування паливного насоса.

10. Зворотний клапан запобігає зливу палива від паливного насоса в паливний бак при зупинці двигуна (тиск відкриття клапана 0,2 бар)

11. Паливний фільтр захищає паливний контур від забруднення і попадання в нього чужорідних часток і води.

12. Паливний бак.

3. Завдання на лабораторну роботу

3.1. Вивчити загальну будову системи живлення з насос-форсунками та призначення її основних елементів.

3.2. Вивчити будову насос-форсунки з електронним керуванням.

3.3. Вивчити роботу насос-форсунки з електронним керуванням під час впорскування палива.

4. Завдання для звіту

4.1. Виконати схему системи живлення з насос-форсунками.

4.2. Зобразити схематично насос-форсунку з електронним керуванням.

4.3. Коротко описати роботу насос-форсунки під час попереднього, основного та кінцевого впорскування.

5. Питання для самоконтролю

5.1. Опишіть загальну будову системи живлення з насос-форсунками.

5.2. Які преваги систем подачі палива з насос-форсунками?

5.3. Опишіть будову насос-форсунки з електронним керуванням.

5.4. Опишіть роботу насос-форсунки під час попереднього, основного та кінцевого впорскування.

6. Рекомендовані першоджерела

1. Грехов Л. В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. – М. : Легион-Автодата, 2003. – 176 с.
2. Скварок Ю.Ю. Паливна апаратура двигунів: – курс лекцій. – Дрогобич : ШВИДКОДРУК, 2008. – 112 с.
3. http://ustroistvo-avtomobilya.ru/dizel-naya-toplivnaya-apparatura

Лабораторна робота № 6

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА РОБОТИ АКУМУЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПАЛИВА COMMON RAIL

Мета: вивчити будову та роботу акумуляторної системи подачі палива, будову та роботу основних агрегатів системи.
Обладнання: агрегати та схема акумуляторної системи подачі палива.

1. Питання для сомопідготовки

1. Недоліки традиційних систем подачі палива дизелів.
2. Особливості будови та роботи системи COMMON RAIL.
3. Загальна будова та робота системи COMMON RAIL.

2. Теоретичні відомості

Система впорскування Common Rail є сучасною системою впорскування палива дизельних двигунів. Система впорскування розроблена фахівцями фірми Bosch. Робота системи Common Rail заснована на подачі палива до форсунок від загального акумулятора високого тиску – паливної рампи (Common Rail в перекладі – загальна рампа).

Застосування цієї системи дає змогу досягти зниження витрати палива, токсичності відпрацьованих газів, рівня шуму дизеля. Система впорскування Common Rail конструктивно становить контур високого тиску паливної системи дизельного двигуна.

Загальна будова системи наведена на рис. 1.

На підставі сигналів, що надходять від датчиків, блок керування двигуном визначає необхідну кількість палива, що подається. У паливний насос високого тиску необхідна кількість палива подається через керування клапаном дозування палива. Насос накачує паливо в паливну рампу. Там воно перебуває під певним тиском, що забезпечується регулятором тиску палива.

У потрібний момент блок керування двигуном дає команду відповідній форсунці на початок впорскування і забезпечує певну тривалість відкриття клапана форсунки. При необхідності блок керування двигуном коригує параметри роботи системи уприскування.

У системі Common Rail реалізується багаторазове впорскування палива протягом одного циклу роботи двигуна. При цьому розрізняють впорскування:

– попереднє;
– основне;
– додаткове.

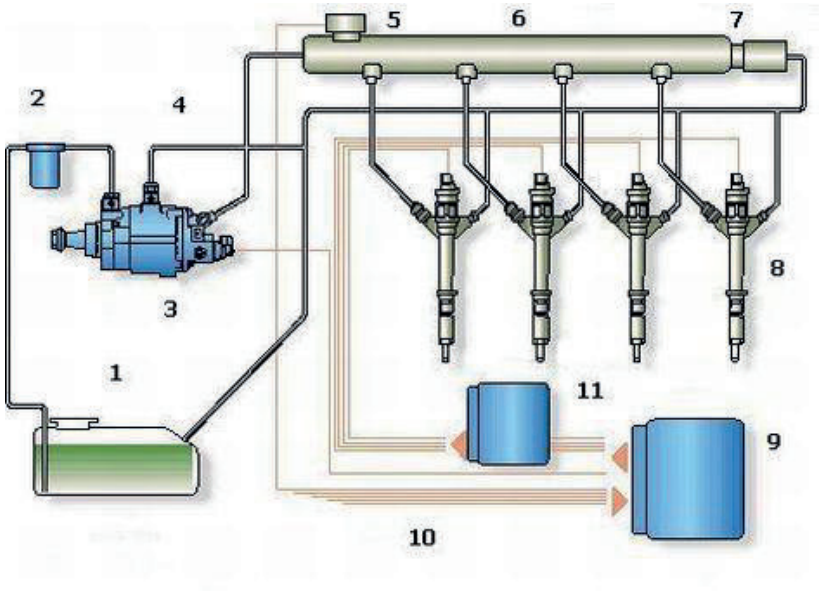


Рис. 1. Загальна будова системи COMMON RAIL:

1 – паливний бак; 2 – паливний фільтр; 3 – паливний насос високого тиску; 4 – паливопроводи; 5 – датчик тиску палива; 6 – паливна рампа; 7 – регулятор тиску палива; 8 – форсунки; 9 – електронний блок керування; 10 – сигнали від датчиків; 11 – підсилювальний блок (на деяких моделях автомобілів)

Попереднє впорскування невеликої кількості палива проводиться перед основним впорскуванням для підвищення температури й тиску в камері згоряння, чим досягається прискорення самозаймання основного заряду, зниження шуму й токсичності відпрацьованих газів. Залежно від режиму роботи двигуна, здійснюється:

– два попередніх впорскування – на холостому ходу;
– одне попереднє впорскування – при підвищенні навантаження;
– попереднє впорскування не здійснюється – при повному навантаженні.

Додаткове впорскування проводиться для підвищення температури відпрацьованих газів і згоряння частинок сажі у сажовому фільтрі, чим досягається регенерації фільтра.

Розвиток системи впорскування Common Rail здійснюється шляхом збільшення тиску впорскування:

– перше покоління – 140 МПа, з 1999 року;
– друге покоління – 160 МПа, з 2001 року;
– третє покоління – 180 МПа, з 2005 року;
– четверте покоління – 220 МПа, з 2009 року.

Магістральний паливний насос високого тиску

Магістральний паливний насос високого тиску використовується в акумуляторній системі впорскування палива Common Rail, де він виконує функцію нагнітання палива в паливну рампу. Магістральні ПНВТ забезпечують

більш вищий тиск палива (в сучасних системах впорскування приблизно 180 МПА і більше).

Конструктивно магістральний насос може мати один, два або три плунжера. Привід плунжерв здійснюється за допомогою кулачкового вала або кулачкової шайби.

При обертанні кулачкового вала (ексцентрика кулачковою шайби) під дією поворотної пружини плунжер рухається вниз. Збільшується обсяг компресійної камери і зменшується тиск в ній. Під дією розрідження відкривається впускний клапан, і паливо поступає в камеру.

Рух плунжера вгору супроводжується зростанням тиску в камері, впускний клапан закривається. При певному тиску відкривається випускний клапан і паливо подається у рампу.

Керування подачею палива здійснюється, залежно від потреби двигуна з допомогою клапана дозування палива. У нормальному положенні клапан відкритий. За сигналом електронного блока керування клапан закривається на певну величину, у результаті регулюється кількість палива, що надходить у компресійну камеру.

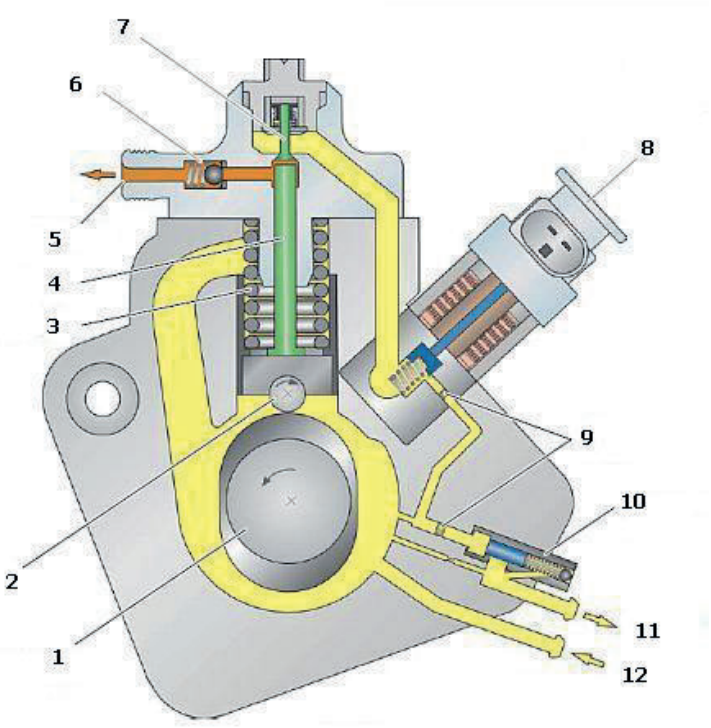


Рис. 2. Магістральний ПНВТ:

1 – приводний кулачковий вал; 2 – ролик; 3 – плунжерна пружина; 4 – плунжер; 5 – штуцер напірної магістралі (до паливної рампи); 6 – випускний клапан; 7 – впускний клапан; 8 – електромагнітний клапан дозування палива; 9 – фільтр тонкого очищення палива; 10 – перепускний клапан; 11 – штуцер зворотного паливо проводу; 12 – штуцер впускного паливопроводу

Насос високого тиску приводиться в дію від колінчастого вала двигуна за допомогою зубчатої, ланцюгової або пасової передачі. Насос змащується і охолоджується самим паливом. На вході в насос встановлений запобіжний клапан, що не допускає падіння тиску в системі.

Три плунжера приводяться в дію ексцентриком, установленим на вала насоса. При русі плунжера вниз під дією пружини відкривається клапан і паливо заповнює простір над плунжером. При ході плунжера вгору клапан закривається і паливо стискається плунжером.

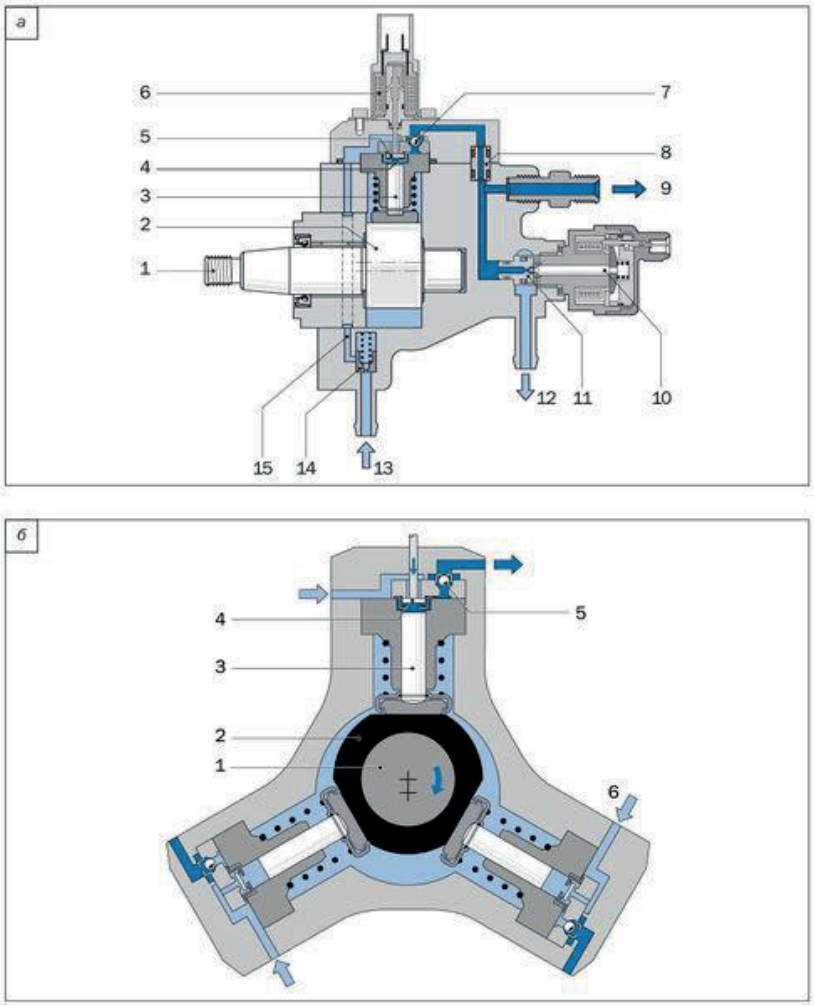


Рис. 3. Схема будови ПНВТ:

а — повздовжній розріз: 1 — вал приводу; 2 — ексцентриковий кулачок; 3 — плунжер з втулкою; 4 — камера над плунжером; 5 — впускний клапан; 6 — електромагнітний клапан відключення плунжерної секції; 7 — випускний клапан; 8 — ущільнення; 9 — штуцер магістралі, що веде до акумулятора високого тиску; 10 — клапан регулювання тиску; 11 — кульковий клапан; 12 — магістраль зворотного зливу палива; 13 — магістраль подачі палива до ПНВТ; 14 — захисний клапан з дросельним отвором; 15 — перепускний канал низького тиску;

б — поперечний розріз: 1 — вал приводу; 2 — ексцентриковий кулачок; 3 — плунжер з втулкою; 4 — впускний клапан; 5 — випускний клапан; 6 — подача палива

Акумуляторний вузол

Акумуляторний вузол є загальним для всіх циліндрів двигуна. Застосування акумуляторного вузла відповідного об'єму знижує пульсації тиску палива. Для того, щоб максимально понизити пульсації тиску, об'єм рампи повинен бути якомога більшим, хоча, з іншого боку, це може призвести до затримки при заповненні цього вузла паливом, а отже, до затримки пуску двигуна. У зв'язку з цим конструкторам доводиться йти на певний компроміс.

Виготовляється вузол з високоміцної сталі.

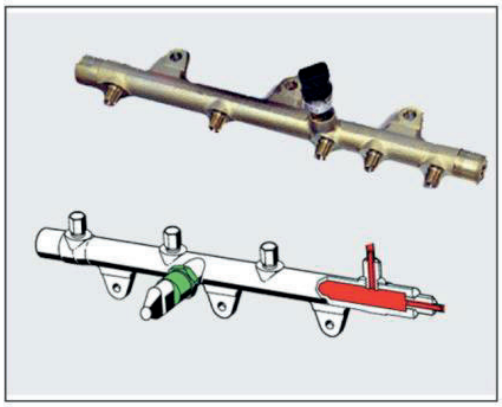


Рис. 4. Акумулятор тиску

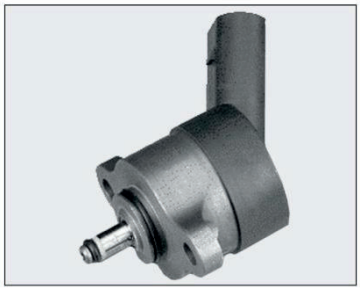


Рис. 5. Клапан контролю тиску

Клапан контролю тиску

Контрольний клапан тиску керується комп'ютером, що входить у блок керування, і підтримує постійний тиск в акумуляторному вузлі. Застосовуються два варіанти установки клапана: на насосі високого тиску або безпосередньо на акумуляторному вузлі.

Сідло клапана закрите кулькою, на яку, з одного боку, діє тиск палива, а з іншого, – сумарна сила від пружини осердя клапана й електромагніту. Електромагніт керується змінним струмом від блока керування. При збільшенні тиску палива понад задану величину клапан відкривається і паливо скидається в зливну магістраль, зменшуючи тиск в акумуляторному вузлі.

На основі сигналу від датчика тиску ЕБК визначає тиск в акумуляторному вузлі.

Електрогідравлічна форсунка

Електрогідравлічна форсунка використовується на дизельних двигунах, в т.ч. обладнаних системою упорскування Common Rail. Конструкція електрогідравлічної форсунки об'єднує електромагнітний клапан, камеру керування, впускний і зливний дроселі.

Принцип роботи електрогідравлічної форсунки заснований на використанні тиску палива як при впорскуванні, так і при його припиненні. У

початковому положенні електромагнітний клапан знеструмлений і закритий, голка форсунки притиснута до сідла силою тиску палива на поршень в камері керування. Упорскування палива не відбувається. При цьому тиск палива на голку, зважаючи на різницю площ контакту, менший тиску на поршень.

За командою електронного блока керування спрацьовує електромагнітний клапан, відкривається зливний дросель. Паливо з камери керування витікає через дросель у зливну магістраль. При цьому впускний дросель перешкоджає швидкому вирівнюванню тиску в камері керування і впускної магістралі. Тиск на поршень знижується, а тиск палива на голку не змінюється, під дією якого голка піднімається і відбувається упорскування палива.

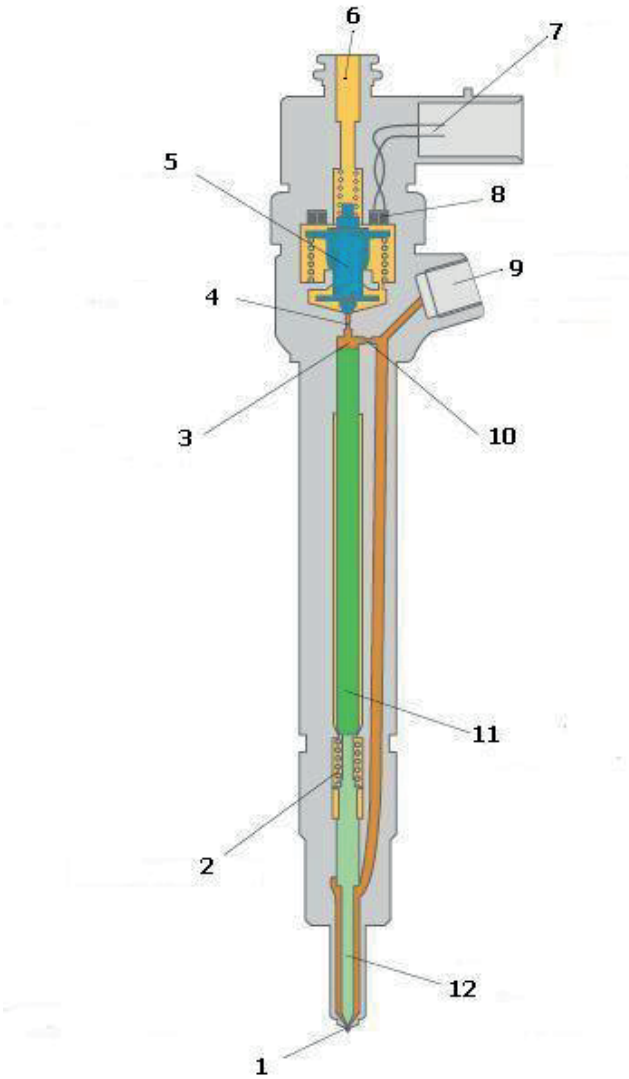


Рис. 6. Електрогідравлічна форсунка:

1 – сопло форсунки; 2 – пружина; 3 – камера керування; 4 – зливний дросель; 5 – якір електромагніту; 6 – зливний канал; 7 – електричний роз'єм; 8 – обмотка збудження; 9 – штуцер підведення палива; 10 – впускний дросель; 11 – поршень; 12 – голка форсунки

П’єзоелектрична форсунка

Найбільш довершеним пристроєм, що забезпечує впорскування палива, є п’єзоелектрична форсунка (п’єзофорсунка). Форсунка встановлюється на дизельних двигунах, обладнаних системою впорскування Common Rail.

Переваги п’єзофорсунки:

– швидкість спрацьовування (у 4 рази швидша за електромагнітний клапан), і, як наслідок, можливість багатократного впорскування палива впродовж одного циклу;
– точне дозування упорскуваного палива.

Це стало можливим завдяки використанню п’єзоефекту в керуванні форсункою, заснованого на зміні довжини п’єзокристала під дією напруги. Конструкція п’єзоелектричної форсунки включає п’єзоелемент, штовхач, що перемикає клапан і голку, поміщені в корпусі.

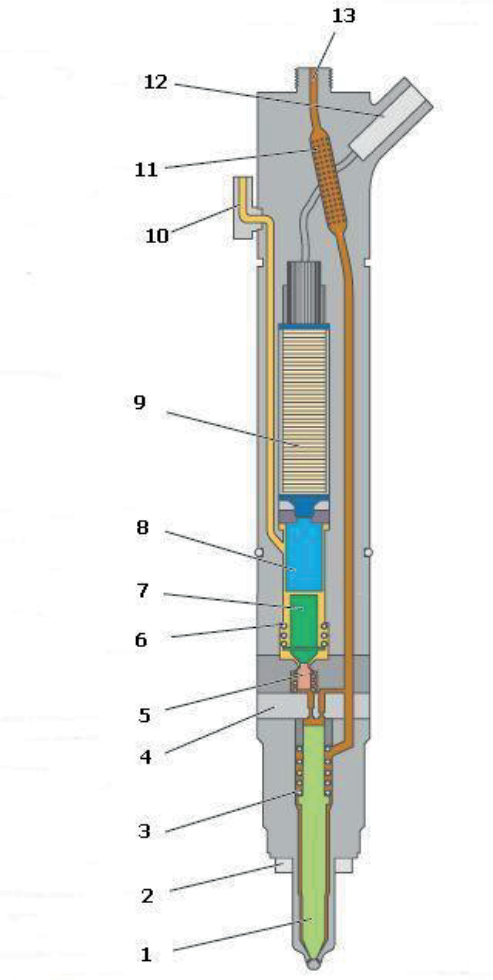


Рис. 7. П’єзоелектрична форсунка:

1 – голка форсунки; 2 – ущільнення; 3 – пружина голки; 4 – блок дроселів; 5 – перемикаючий клапан; 6 – пружина клапана; 7 – поршень клапана; 8 – поршень штовхача; 9 – п’єзоелемент; 10 – зливний канал; 11 – сітчастий фільтр; 12 – електричний роз’єм; 13 – нагнітальний канал

У роботі п’єзофорсунки, також як і електрогідравлічної форсунки, використовується гідравлічний принцип. У початковому положенні голка посаджена на сідло через високий тиск палива. При подачі електричного сигналу на п’зоелемент, збільшується його довжина, яка передає зусилля на поршень штовхача. Відкривається перемикаючий клапан, паливо поступає в зливну магістраль. Тиск вище голки падає. Голка завдяки тиску в нижній частині піднімається і проводиться впорскування палива.

Кількість впорскуваного палива визначається:

– тривалістю дії на п’єзоелемент;

– тиском палива в паливній рампі.

3. Завдання на лабораторну роботу

3.1. Вивчити загальну будову та роботу акумуляторної системи подачі палива. Прослідкувати за схемою щлях палива у системі.

3.2. Вивчити будову та роботу магістрального паливного насоса високого тиску. З’ясувати, яким чином здійснюється дозування палива у насосі.

3.3. Вивчити будову та роботу електрогідравлічної форсунки. З’ясувати, яким чином здійснюється дозування палива.

3.4. Вивчити будову та роботу п’єзоелектричної форсунки

4. Завдання для звіту

4.1. Зобразити загальну схему акумуляторної системи подачі палива.

4.2. Зобразити схему магістрального ПНВТ.

4.3. Зобразити схему електрогідравлічної форсунки.

5. Запитання для самоконтролю

5.1. Опишіть загальну будову системи живлення COMMON RAIL

5.2. Які переваги системи COMMON RAIL, порівняно з іншими системами подачі палива дизелів?

5.3. Опишіть будову та роботу магістрального паливного насоса високого тиску.

5.4. Опишіть будову акумулятора палива. Які регулятори та датчики встановлені на ньому?

5.5. Опишіть будову й роботу електрогідравлічної форсунки.

5.6. Опишіть будову й роботу п’єзоелектричної форсунки.

5.7. Які переваги п’єзоелектричної форсунки?

6. Рекомендовані першоджерела

1. Основы конструкции автомобиля. Иванов А.М., Солнцев А.Н., Гаевский В.В. и др. – М. : ООО “Книжное издательство “За рулем“, 2005. – 336 с.

2. Грехов Л. В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. – М. : Легион-Автодата, 2003. – 176 с.

3. Скварок Ю.Ю. Паливна апаратура двигунів. – Дрогобич : ШВИДКОДРУК, 2008. – 117 с.

4. http://www.audagena.lt/info/docs/351_dvig%203-V6%20TDI%20Common-Rail.pdf

5. http://systemsauto.ru

6. http://wiki.zr.ru

Лабораторна робота № 7
ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА РОБОТИ СИСТЕМ НАДДУВУ

Мета: вивчити будову та принцип роботи систем наддуву двигунів.
Обладнання: турбонагнітач, плакати, схеми систем.

1. Питання для самопідготовки

1. Призначення і класифікація систем наддуву двигуна.
2. Загальна будова турбонагнітача.

2. Теоретичні відомості

Підвищення літрової потужності двигуна можна забезпечити як збільшенням частоти обертання вала двигуна, так і збільшенням середнього ефективного тиску у циліндрах. Середній ефективний тиск залежить від густини заряду, тобто кількості паливоповітряної суміші, що поступила в циліндри, і повноти використання теплоти, що виділилася при її згоранні.

Одним з найпоширеніших засобів підвищення середнього ефективного тиску є наддув двигунів, тобто підвищення тиску на впуску і збільшення масового наповнення циліндрів, порівняно з можливим їхнім наповненням в умовах тиску навколишнього середовища. За ступенем підвищення тиску наддув розділяють на низький з тиском на впуску до 0,15 МПа, середній, — до 0,2 МПа і високий — при тиску понад 0,2 МПа.

Доцільність використання того чи іншого способу наддуву зумовлена особливостями сумішеутворення і організації процесу згорання в різних двигунах.

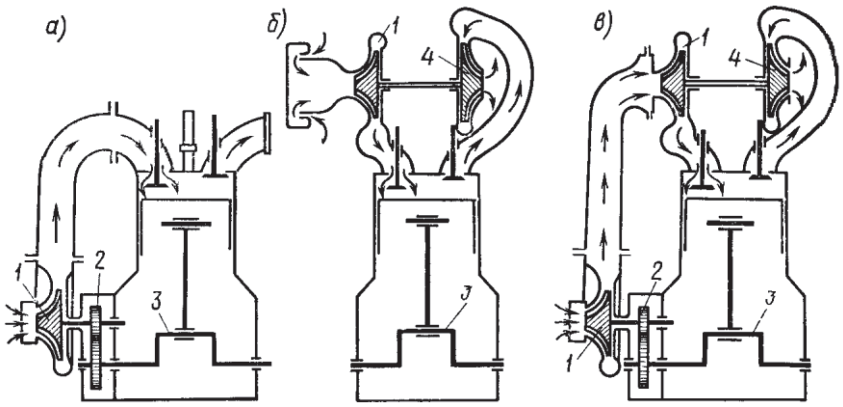


Рис. 1. Типи систем наддуву:
а – механічний нагнітач; б – турбонаддув; в – комбінований наддув

Газодинамічний наддув

Газодинамічний наддув дає змогу збільшувати масове наповнення циліндрів без застосування нагнітачів лише шляхом використання швидкісного напору потоку й коливання його тиску у впускному та випускному трубопроводах.

Чим більші швидкість і маса газу, тим більша інерція потоку і тим більший ефект можна отримати при такому способі наддуву. Помітне збільшення наповнення можна забезпечити, збільшивши довжину впускного трубопроводу або застосувавши акумулюючі камери.

Наддув двигунів нагнітачами

Наддув нагнітачами спершу широко застосовувався на дизельних двигунах, сьогодні – і на бензинових.

Розрізняють наддув за допомогою нагнітачів, що приводяться від колінчастого вала двигуна, і турбонаддув з приводом нагнітача завдяки енергії відпрацьованих газів. У першому випадку використовують порівняно тихохідні об'ємні нагнітачі – коловоротні (або шиберні) насоси й роторні нагнітачі, а для турбонаддуву – радіально-осьові або осьові турбіни й нагнітачі.

Турбонаддув

Турбонаддув поршневих двигунів заснований на використанні енергії відпрацьованих газів, що скеровують на робочі лопатки колеса турбіни, яку розташовують на одному вала з нагнітачем.

Під дією відцентрових сил, викликаних обертанням колеса з лопатками, повітря відкидається до периферії колеса, а в його центрі створюється розрідження, що забезпечує всмоктування повітря. Для ефективної роботи турбокомпресора частота обертання колеса компресора повинна бути дуже високою, не меншою 50 – 100 тис $хв^{-1}$.

При роботі ДВЗ з випускного трубопроводу під тиском викидаються продукти згорання, які мають високу температуру. Потік газів приводить в обертання колесо турбіни, яке передається закріпленому на загальному вала колесу компресора.

Для досягнення фази наддуву, тобто моменту, коли тиск повітря на впуску перевищить атмосферний, необхідно, щоб була досягнута певна частота обертання турбіни (не менше 60000 $хв^{-1}$). При малих оборотах двигуна турбокомпресор працює в черговому режимі.

Залежно від прийнятої конструкції випускного трубопроводу і корпусу турбіни, турбокомпресор може працювати або при постійному тиску газів, або при змінному (імпульсному) тиску газів на вході в турбіну. В імпульсних системах наддуву відпрацьовані гази підводять до турбіни відособленими патрубками від кожного циліндра або від групи циліндрів, підібраних з

урахуванням порядку роботи так, що випуски з них не перекриваються або чергуються з найбільшими проміжками часу. При імпульсному наддуві більш повно використовується енергія відпрацьованих газів, поліпшується і очищення циліндрів від них. Патрубки в цьому випадку роблять якомога коротшими, з мінімально допустимим об'ємом.

У системах наддуву з постійним тиском гази зі всіх циліндрів підводять до турбокомпресора по загальному трубопроводу достатньо великого перетину, що і сприяє вирівнюванню тиску. Такий наддув характерний для багатоциліндрових швидкохідних автомобільних двигунів.

Масова витрата компресора визначається кількістю і температурою відпрацьованих газів, що протікають через турбіну. Збільшення подачі палива в дизелі або відкриття дросельної заслінки в бензиновому двигуні приводить до збільшення кількості відпрацьованих газів і, відповідно, до збільшення масової витрати компресора. Турбонаддув дає змогу дещо понизити вимоги до займистості палива, оскільки унаслідок підвищених температур і тиску стиснутого повітря в циліндрах умови для займання поліпшується.

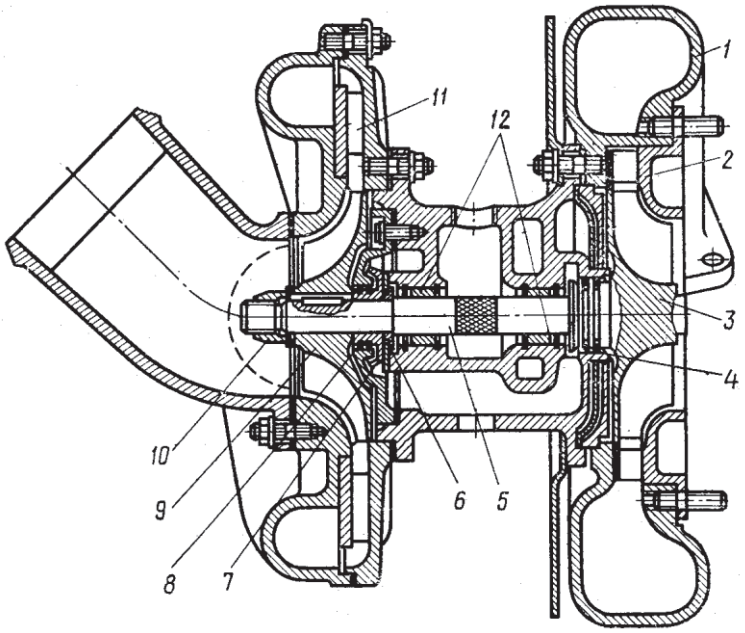


Рис. 2. Турбонагнітач ЯМЗ:

1 – вхідний патрубок; 2 – сопловий вінець з направляючими лопатками; 3 – турбінне колесо; 4, 8 – кільцеве ущільнення; 5 – вал; 6 – упорний підшипник; 7 – оливовідбивач; 9 – насосне колесо; 10 – гайка; 11 – направляючі лопатки (щілинний дифузор); 12 підшипник ковзання

Конструкція турбонагнітача двигуна ЯМЗ-238Н зображена на рис. 2. Тут застосована радіально-осьова відцентрова турбіна з двосекційним змішаним підведенням відпрацьованих газів. Кожну секцію живлять від окремого ряду циліндрів. Вхідні патрубки 1 турбіни 3 розташовані симетрично і закручені у

напрямі обертання турбіни, а вхідні направляючі лопатки виготовлені заодно з сопловим вінцем 2. Робоче колесо турбіни приварене до вала 5 нагнітача, робоче колесо 9 насаджене на цей вал з шпонкою і закріплено гайкою 10. На виході з турбіни встановлюють направляючі лопатки або щілинний дифузор 11. Вал турбокомпресора встановлений на двох підшипниках ковзання 12. З боку турбіни і нагнітача підшипники закриті кільцевими ущільненнями 4, 8 і, крім того, встановлено оливовідбивач 7. Упорний підшипник 6 розташований з боку нагнітача. Мащення підшипників здійснюють оливою з системи мащення двигуна, причому перед подачею в корпус турбокомпресора воно піддається додатковому тонкому очищенню в спеціальному об'ємному фільтрі.

Масова витрата турбокомпресора нелінійно залежить від кількості відпрацьованих газів, що протікають через турбіну. Якщо забезпечується необхідний ступінь підвищення тиску на режимі максимального крутного моменту, то на номінальній потужності (при більшій витраті відпрацьованих газів через турбіну) ступінь підвищення тиску, як правило, перевищує необхідний рівень. У зв'язку з цим, в систему наддуву встановлюють клапанні пристрої, завдяки яким можна перепускати частину газів, минаючи турбіну (рис. 3), або частину наддувного повітря повертати на впуск компресора.

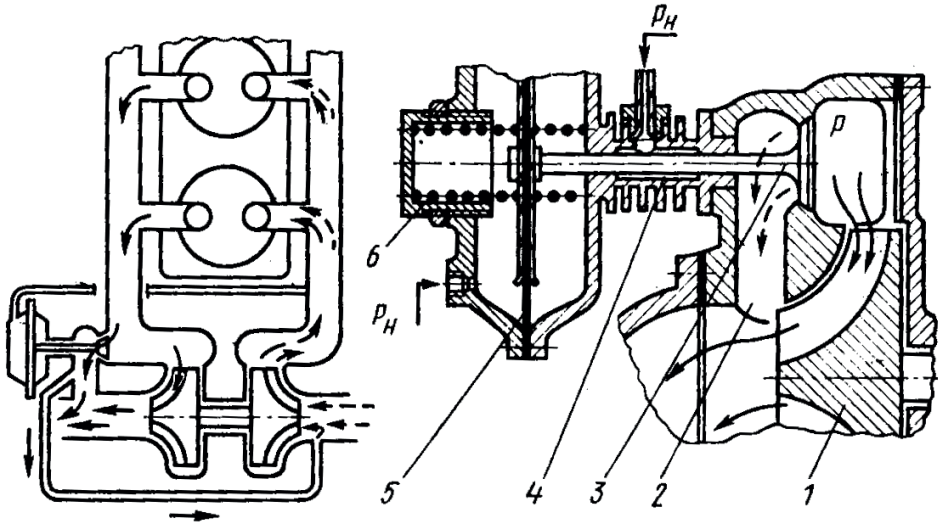


Рис.3. Регульований наддув:

1 – турбінне колесо; 2 – канал; 3 – клапан; 4 – канал охолодження клапана; 5 – мембранний механізм; 6 – пружина

Пристрій для перепускання (рис. 3) складається з клапана 3, встановленого перед входом газів на робоче колесо турбіни 1, який відкривають мембранним механізмом 5 під дією тиску або повітря, що нагнітається, або відпрацьованих газів перед турбіною. По каналу 2 частину відпрацьованих газів перепускають безпосередньо в приймальну трубу глушника. Перепускний клапан зазнає дії високих температур і агресивного

середовища відпрацьованих газів, тому його виготовляють з високоякісних матеріалів. У деяких конструкціях застосовують охолодження стержня перепускного клапана повітрям наддуву. Невелика частина стиснутого в турбокомпресорі повітря протікає в зазор 4 між направляючою втулкою і стержнем, охолоджує їх, а потім, змішуючись з відпрацьованими газами, викидається в атмосферу. Тиск відкриття клапана регулюють натягом пружини 6. Аналогічно побудований клапан перепуску наддувного повітря.

Для зменшення токсичності відпрацьованих газів, передовсім для зменшення вмісту оксидів азоту, частину відпрацьованих газів домішують до всмоктуваного повітря і при цьому відбувається так звана рециркуляція відпрацьованих газів.

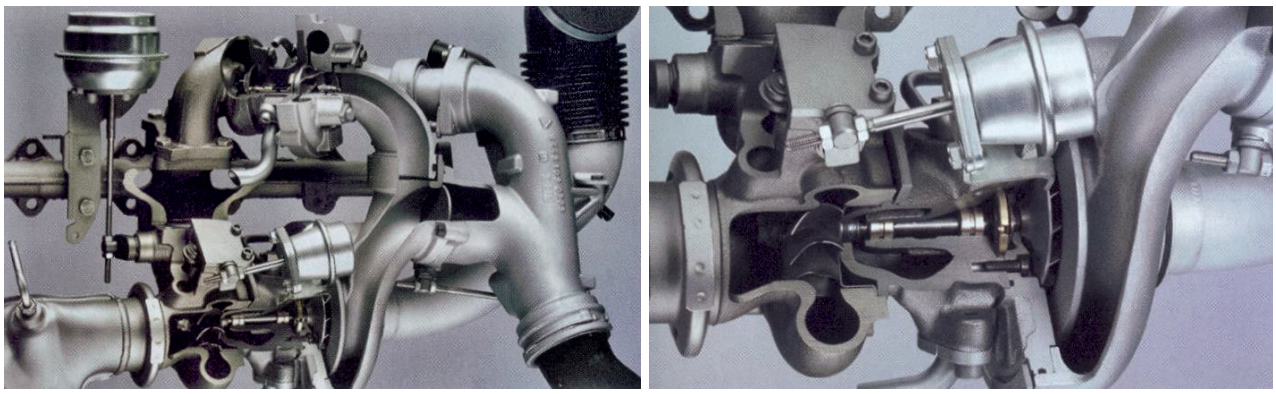
Відомо, що стиснення повітря призводить до підвищення його температури. У сучасних наддувних двигунах часто застосовують проміжне охолоджування повітря, що поступає від турбокомпресора. З цією метою повітря, стиснуте в турбокомпресорі, поступає в спеціальний теплообмінник, в якому повітря охолоджується до температури 50 – 60°С. Охолодження повітря дає можливість поліпшити наповнення циліндрів через збільшення густини повітря і зменшити ймовірність виникнення детонації. Охолодження повітря підвищує потужність двигуна з наддувом приблизно на 20 % при одночасному поліпшенні паливної економічності.

Подвійний наддув

При проектуванні турбонаддуву інженер повинен знайти компромісні розв'язки з низки питань. Одне з них – велику чи малу турбіну встановлювати? Велика турбіна продуктивніша, тобто вона може створювати вищий тиск, нагнітаючи більше повітря. Проте вона має значний момент інерції і, відповідно, володіє більшою інерцією спокою, тобто її складніше розкрутити, ніж малу. У малої турбіни – інші проблеми: вона швидко розкручується, дає змогу отримати надбавку моменту в нижньому діапазоні, а ось підсумкова надбавка до максимальної потужності незначна.

Проблема розв'язується шляхом встановлення двох турбін (рис. 4, 5). Мала швидко розкручується, не допускає турбоями в нижньому діапазоні обертів. У середньому діапазоні обертів обидві турбіни працюють спільно: мала вже є на межі своїх можливостей, а велика тільки-тільки виходить на проектну потужність.

Нарешті, на високих обертах тиск створює тільки велика турбіна. Таку схему прийнято називати двоступінчатим наддувом. За міжнародною термінологією цю схему часто називають Twin Turbo.



а б

Рис. 4. Наддув Twin Turbo:

а – загальний вигляд, б – механізм керування заслінкою переключення потоків з малої турбіни на велику

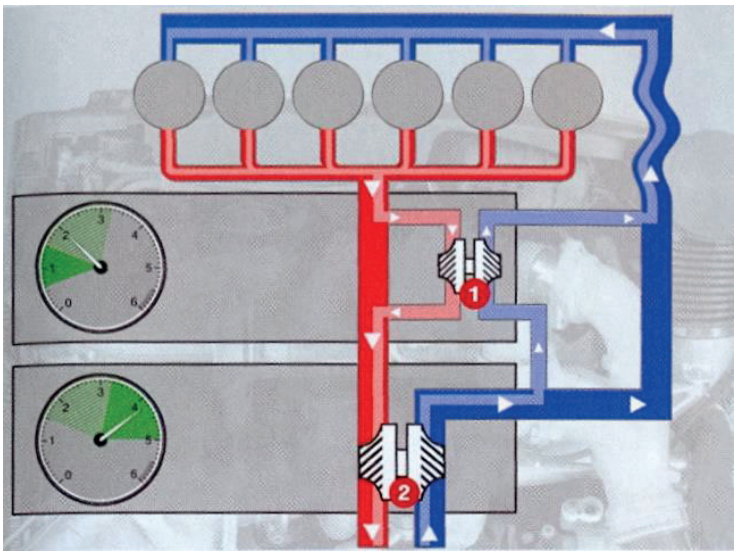


Рис. 5. Система Twin-Turbo:

1 – мала турбіна; 2 – велика турбіна

Застосовується і система Bi-Turbo, у якій встановлені дві однакові за розміром турбіни, що обслуговують однакову кількість циліндрів. Як правило, вони мають середні габарити. До такої модифікації прийшли, намагаючись нейтралізувати згубний вплив потоків відпрацьованих газів від сусідніх циліндрів.

Для коректної роботи турбонаддуву, необхідно забезпечити відсутність сильних пульсацій і, відповідно, тиску. Окремий випадок подвійного наддуву – двопотоковий турбонаддув. Така конструкція характеризується тим, що на одну турбіну потрапляє не загальний потік відпрацьованих газів від усіх циліндрів, а розділений на два. У разі чотирициліндрового двигуна один потік буде від 1-го і 4-го циліндрів, другий – від 2-го і 3-го. Лише після того, як вони передадуть свою енергію турбіні, їх об’єднують.

Оптимальне розв'язання проблеми узгодження режимів роботи двигуна й турбіни – це зміна геометрії направляючого апарата. Виконавчим механізмом цього вузла може бути пневмокамера або електромагніт.

Загальна схема турбонаддуву із змінюваною геометрією турбіни наведена на рис. 6.

На відміну від звичайного турбокомпресора, турбонагнітач із змінюваною геометрією може регулювати напрям і величину потоку відпрацьованих газів, чим досягається оптимальна частота обертання турбіни і, відповідно, продуктивність компресора.

Така турбіна об'єднує направляючі лопатки, механізм керування і вакуумний привід. Направляючі лопатки призначені для зміни швидкості і напряму потоку відпрацьованих газів шляхом зміни величини перерізу каналу. Вони повертаються на певний кут навколо своєї осі.

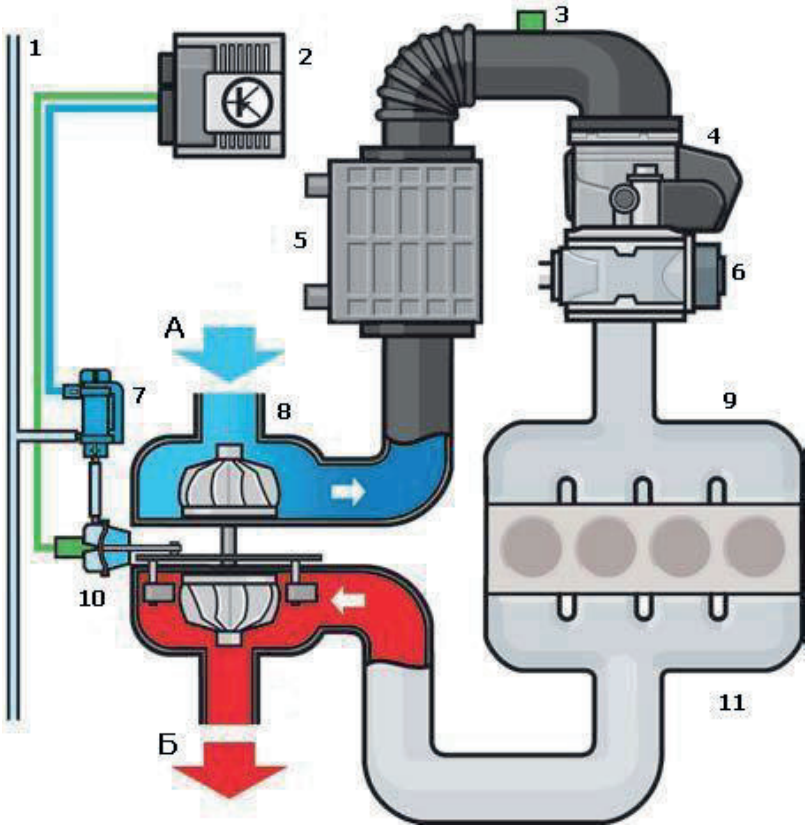


Рис. 6. Турбонаддув зі змінюваною геометрією:

1 – вакуумна магістраль; 2 – блок управління двигуном; 3 – датчики тиску наддування і температури повітря на впусканні; 4 – блок управління повітряною заслінкою; 5 – інтеркулер; 6 – клапан рециркуляції відпрацьованих газів; 7 – клапан обмеження тиску наддування; 8 – турбонагнітач; 9 – впускний колектор; 10 – вакуумний привід направляючих лопаток; 11 – випускний колектор

Поворот лопаток здійснюється за допомогою механізму керування (рис. 7). Механізм складається з кільця і важеля. Спрацьовування механізму

керування забезпечує вакуумний привід, що впливає через тягу на важіль керування. Робота вакуумного приводу регулюється клапаном обмеження тиску наддуву, підключеним до системи керування двигуном. Клапан обмеження тиску наддуву спрацьовує залежно від величини тиску наддуву, який вимірюється двома датчиками: датчиком тиску наддуву і датчиком температури повітря на впуску.

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

При низьких оборотах двигуна енергія відпрацьованих газів невелика. Для ефективного її використання направляючі лопатки є в закритому положенні, при якому площа каналу відпрацьованих газів найменша.

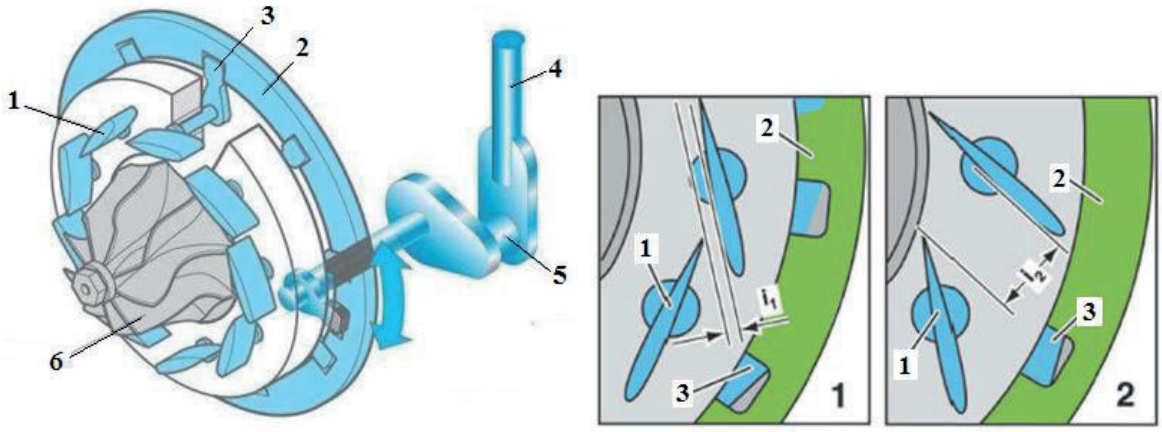


Рис. 7. Направляючий апарат зі змінюваною геометрією:

1 – направляючі лопатки; 2 – кільце; 3 – повідець; 4 – важіль; 5 – тяга вакуумного привода; 6 – турбінне колесо

Завдяки малій площі перерізу потік відпрацьованих газів посилюється і заставляє турбіну обертатися швидше. Відповідно швидше обертається колесо нагнітача, а продуктивність турбокомпресора збільшується.

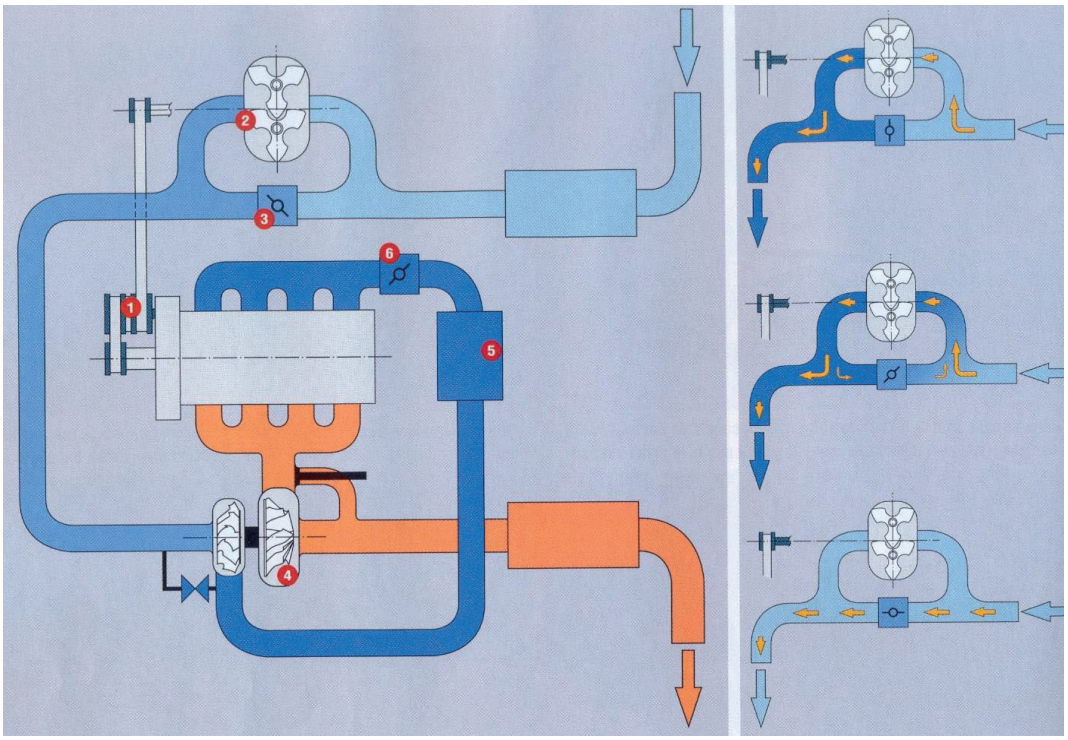
При різкому збільшенні оборотів двигуна, внаслідок інерційності системи, енергії відпрацьованих газів стає недостатньо. Тому для проходження «турбоями» лопатки повертаються з деякою затримкою, чим досягається оптимальний тиск наддуву.

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

Комбінований наддув

Уперше застосовано у 2005 році інженерами фірми Фольксваген. Застосовано комбінацію традиційної турбіни й гвинтового нагнітача. Двигун

працює за двоступінчатою схемою. У нижньому діапазоні обертів діє гвинтовий компресор, що приводиться від колінчастого вала пасовою передачею з передавальним відношенням 1:5. Так продовжується до 1500 об/хв колінвала. Клапан, який регулює потік у випускному колекторі, відкривається, і відпрацьовані гази починають помалу розкручувати турбіну. При цьому заслінка, що сполучає колесо компресора турбонаддуву з атмосферою, також починає відкриватися. На цьому етапі гвинтовий нагнітач дає основну надбавку в тиску, а турбіна тільки виходить на робочий режим, долаючи інерцію спокою.



а б

Рис. 8. Комбінований наддув (а – загальна схема, б – режими роботи):
1 – електромагнітна муфта; 2 – гвинтовий компресор; 3 – заслінка;
4 – турбокомпресор; 5 – інтеркулер; 6 – повітряна заслінка

Після 2500 об/хв турбіна, що розкрутилася, і гвинтовий компресор працюють спільно. Потім електромагнітна муфта відключає шків приводу механічного наддуву, і після 4000 об/хв працює тільки турбіна. Кількість стиснутого повітря, що поступає в циліндри, контролюється заслінкою, яка отримує інформацію про положення педалі акселератора і стоїть безпосередньо після проміжного охолоджувача.

3. Завдання на лабораторну роботу

3.1. Вивчити загальну будову та роботу турбокомпресора ЯМЗ.

3.2. Вивчити схеми регулювання наддуву.

3.3. Вивчити конструктивні особливості систем з подвійним і комбінованим наддувом.

4. Завдання для звіту

4.1. Виконати схему системи турбонаддуву зі змінною геометрією та описати її роботу.

4.2. Коротко описати роботу систем з газодинамічним і механічним наддувом.

5. Питання для самоконтролю

5.1. Яке призначення системи наддуву?

5.2. Як класифікуються системи наддуву?

5.3. Опишіть принцип роботи систем з газодинамічним і механічним наддувом.

5.4. Опишіть будову та роботу турбокомпресора.

5.5. Опишіть будову та роботу турбокомпресора зі змінною геометрією направляючого апарата.

6. Рекомендовані першоджерела

1. Основы конструкции автомобиля. Иванов А.М., Солнцев А.Н., Гаевский В.В. – М. : ООО “Книжное издательство “За рулем“, 2005. – 336 с.
2. http://turbinna.ru/informatsiya/nadduv-v-dvigatelyakh-vnutrennego-sgoraniya
3. http://wiki.zr.ru

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. – М. : Легион-Автодата, 2003. – 176 с.
2. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. Учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М. : Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
3. Кисликов В.Ф. Будова й експлуатація автомобілів / В.Ф. Кисликов, В.В. Лущик – К. : Либідь, 2000. – 400 с.
4. Основы конструкции автомобиля. Иванов А.М., Солнцев А.Н., Гаевский В.В. и др. – М. : ООО “Книжное издательство “За рулем“, 2005. – 336 с.
5. Росс Твег. Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт. – М. : Издательство “За рулем“, 1997. – 144 с.
6. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. – М. : ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 480 с.
7. Двухлитровый двигатель FSI с непосредственным впрыском бензина мощностью 110 кВт. Пособие по программе самообразования. – Режим доступу: http://www.audagena.lt/info/docs/279_dvig%202l%20FSI.pdf. – Заголовок з екрана.
8. Двигатель 3,0 л V6 TDI с системой впрыска топлива Common-Rail. Программа самообучения 351. – Режим доступу: http://www.audagena.lt/info/docs/351_dvig%203-V6%20TDI%20Common-Rail.pdf. – Заголовок з екрана.
9. Двигатели-1.4л-и-1.6л-FSI. – Режим доступу: http://remontvw.spb.ru/wp-content/uploads/2013/04/296.pdf. – Заголовок з екрана.
10. Аккумуляторные топливные системы с электронным управлением «Коммон Рейл». – Режим доступу: http://ustroistvo-avtomobilya.ru/dizel-naya-toplivnaya-apparatura. – Заголовок з екрана.
11. Топливная система двигателя FSI. – Режим доступу: http://systemsauto.ru. – Заголовок з екрана.
12. Наддув в двигателях внутреннего сгорания. – Режим доступу: http://turbinna.ru/informatsiya/nadduv-v-dvigatelyakh-vnutrennego-sgoraniya. – Заголовок з екрана.
13. Турбонаддув. – Режим доступу: http://wiki.zr.ru. – Заголовок з екрана.