

Міністерство освіти і науки України

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Ю.М. Бороденко, Щ.В. Аргун

**ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ І КОМПЛЕКСИ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**розділ «Мехатронні системи автомобільних ДВЗ»
для студентів спеціальності 141**

конспект лекцій

Затверджено кафедрою
автомобільної електроніки
протокол № 7 від 19.01.2021

Харків
ХНАДУ
2021

УДК 629.3.03: 621.38 (075)

Рецензент: *Абрамчук Ф.І.*, д-р техн. наук, професор

(Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ)).

Бороденко Ю.М., Аргун Щ.В. Електричні системи і комплекси транспортних засобів: розділ «Мехатронні системи автомобільних ДВЗ». / Ю.М. Бороденко, Щ.В. Аргун: конспект лекцій. – Харків: ХНАДУ, 2021. – 106 с.

Дана загальна характеристика об'єктів та систем керування ДВЗ. Розглянуто компонентний склад систем керування та способи реалізації керуючих впливів на окремі механічні системи і вузли ДВЗ за допомогою електричних виконавчих пристроїв промислових зразків. Наведено приклади структури та алгоритми функціонування мехатронних систем ДВЗ провідних автовиробників.

Призначений для студентів електромеханічних спеціальностей навчальних закладів автотранспортного спрямування, корисний для інженерно-технічних працівників у сфері проектування систем автомобільної електроніки та обслуговування автомобілів.

Іл. 83. Табл. 1. Бібліогр. 42 найм.

УДК 629.3.03: 621.38 (075)

Бороденко Ю.М., Аргун Щ.В.
Харківський національний
автомобільно-дорожній
університет, 2021

ПЕРЕДМОВА

Конспект лекцій складено у відповідності до робочої програми навчальної дисципліни «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» для підготовки бакалаврів в галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Конспект містить дві теми другої частини курсу загальним обсягом 16 год. та разом з розділом [1] складають лекційний матеріал другої частини інтегрованого курсу ЕСКТЗ під назвою «Мехатронні системи силового приводу автомобіля». Надані теми містять поновлений матеріал, що стосується устрою та функціонування мехатронних систем автомобільних двигунів. Матеріал даного конспекту складено за оглядом інформації навчальної літератури, наукових досліджень та Інтернет сторінок провідних автомобілебудівників.

Зміст матеріалу орієнтований на фахівців електромеханіків та для його опанування потрібні певні знання з спеціальних дисциплін (розділів), що передують за навчальним планом: устрій автомобіля, двигуни внутрішнього згорання, електрообладнання автомобілів, дискретні пристрої автоматики, системи автоматичного керування.

Методологія викладення матеріалу передбачає послідовність інформації: призначення та класифікація систем і їх складових; устрій компонентів; структура та функціонування систем; приклади сучасних систем промислових зразків; концептуальні технічні рішення з використанням сучасних технологій.

Для кращого засвоєння матеріалу, в конспекті наводяться структурні схеми та ілюстрації натуральних об'єктів. Текст конспекту супроводжується посиланнями на первинні та додаткові джерела інформації. Після кожної теми надано перелік контрольних запитань складених у форматі екзаменаційної атестації. Наприкінці конспекту наведено перелік прийнятих скорочень.

ЗМІСТ

Тема 1. Мікропроцесорні системи керування бензиновими ДВЗ....	5
1.1. Класифікація і моделі систем керування.....	5
1.2. Характеристика датчиків і виконавчих пристроїв.....	12
1.3. Способи реалізації керуючих впливів.....	18
1.4. Устрій і функціонування систем впорскування палива.....	30
1.5. Системи газорозподілу промислових зразків.....	38
1.6. Побудування комплексних систем керування.....	51
Контрольні запитання.....	57
Тема 2. Побудування мехатронних систем дизельних ДВЗ.....	59
2.1. Особливості конструкції і робочих процесів у дизелях.....	59
2.2. Устрій апаратів високого тиску.....	67
2.3. Устрій паливних систем.....	85
2.4. Побудування комплексних систем керування дизелями.....	93
Контрольні запитання.....	101
Прийняті скорочення.....	103
Література.....	104

Тема 1. Мікропроцесорні системи керування бензиновими ДВЗ

1.1. Класифікація і моделі систем

В системі приводу автомобіля, ДВЗ розглядається, як об'єкт керування, і в сукупності з електронною системою керування являє мехатронну систему, яка функціонує в напівавтоматичному режимі під контролем водія (рис. 1.1).

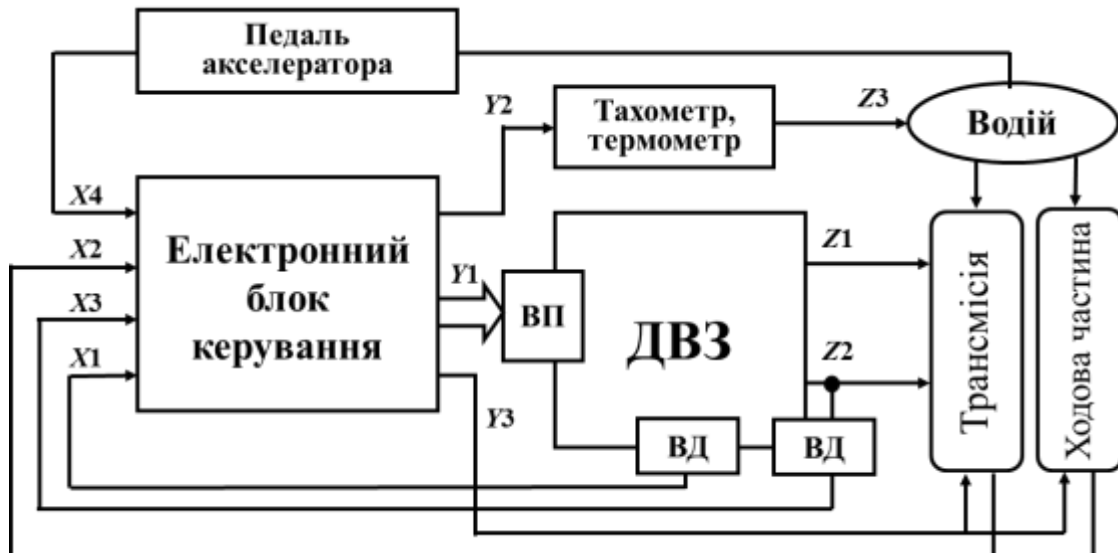


Рис. 1.1. Узагальнена модель мехатронної системи ДВЗ у форматі «Автомобіль-дорога-водій»

Вхідні сигнали системи керування надходять з датчиків:

- структурних режимних параметрів двигуна X_1 ;
- інших мехатронних систем автомобіля X_2 ;
- вихідних параметрів двигуна (вихлопу, детонації), що утворюють зворотний зв'язок адаптивних систем X_3 ;
- органів напівавтоматичного керування X_4 .

Вихідні сигнали системи керування ДВЗ надходять на виконавчі пристрої Y_1 і засоби контролю Y_2 , а також використовується для суміжних систем керування комбінованої структури Y_3 .

Електричні системи керування ДВЗ призначені для реалізації алгоритмів, які оптимізують керуючі віз-дії на механічні системи і вузли ДВЗ в автоматичному і напівавтоматичному режимах. Процес оптимізації відбувається на основі аналізу режимних параметрів ДВЗ (частоти обертання, навантаження, температурного стану), які змінюються під час руху АТЗ. Цільовими функціями (критеріями) оптимізації структурних параметрів ДВЗ є поліпшення його вихідних (робочих) характеристик - підвищення ефективної потужності на колінчатому валі при мінімальних витратах палива з мінімальними викинутими токсичних речовин в навколишнє середовище.

Системи керування ДВЗ як і будь-які системи керування АТЗ можна класифікувати за чотирма основними ознаками: призначенням або об'єкту (систе-

ми) керування; гнучкості реалізації алгоритму, який оптимізує; архітектурної композиції; способу реалізації системи. За першою ознакою можна виділити системи керування, які використовуються на бензинових ДВЗ (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Класифікація систем керування ДВЗ за загальними ознаками

У системах керування ДВЗ, як інформаційні розглядаються параметри, що характеризують поточний режим двигуна: частота обертання колінчастого валу (КВ), положення дросельної заслінки (ДЗ), температура охолоджуючої рідини (ОР). Використовуючи прийняті позначення (див. рис. 1.1), можна скласти таблицю лінгвістичних моделей для окремих функціональних систем ДВЗ (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Лінгвістичні моделі функціональних систем керування ДВЗ

Об'єкт (система) керування	Інформаційні сигнали X_i	Сигнали керування $Y_j=f(X_i)$	Параметри оптимізації $Z_k=F(Y_j)$
Запалюванням	-положення КВ, -частота обертання, -навантаження ДВЗ, -температура ДВЗ.	-нормуванням енергії іскри, -моментом запалювання, -алгоритмом подачі іскри по циліндрах.	-мінімізація токсичності ВГ, - мінімізація витрати палива, -підвищення потужності ДВЗ.
Вприскуванням палива	-положення КВ, -частота обертання, -витрата повітря, -температура ДВЗ, -положення ДЗ.	-регулятором ХХ, -продуктивністю паливних форсунок, -фазою уприскування, -алгоритмом уприскування.	- мінімізація обертів ХХ, -мінімізація токсичності ВГ, - мінімізація витрати палива, -підвищення потужності

			сті ДВЗ.
Впуском повітря	-навантаження ДВЗ, -частота обертання.	-регулятором ХХ -турбокомпресором.	-підвищення потужності ДВЗ.
Ступенем стискання	-частота обертання, -навантаження ДВЗ, -температура ДВЗ.	-приводом підйому головки циліндрів ДВЗ.	-підвищення потужності ДВЗ.
Газорозподілом	-положення КВ, -частота обертання, -температура ДВЗ, -навантаження ДВЗ.	-фазою відкриття, -часом відчиненого стану, -продуктивністю, -алгоритмом функціонування.	-мінімізація токсичності ВГ, - мінімізація витрати палива, -підвищення потужності ДВЗ.
Подачею палива	-частота обертання.	-вмиканням паливного насоса.	- мінімізація витрати палива,.
Охолодженням	-температура ДВЗ, -частота обертання, -швидкість руху, -температура ОР, -навантаження ДВЗ.	- вмиканням вентилятора охолодження.	- мінімізація витрати палива, -підвищення потужності ДВЗ.
Рециркуляцією відпрацьованих газів	-якість згоряння, -частота обертання, -температура ДВЗ, -навантаження ДВЗ.	-клапаном перепуску ВГ.	-мінімізація токсичності ВГ
Полегшенням пуску двигуна	-температура ДВЗ, -температура повітря, -температура палива, -частота обертання.	-підігрівачами паливної суміші.	- мінімізація витрати палива, -зниження експлуатаційних витрат.
Утилізацією випарів бензину	-температура ДВЗ, -якість згоряння, -швидкість руху -навантаження ДВЗ.	-клапаном додаткової подачі палива.	- підвищення екологічності автомобіля, - мінімізація витрати палива,

Гнучкість керування (адаптивність) розглянутих систем ДВЗ забезпечується шляхом організації зворотних зв'язків за ознакою детонаційного процесу (датчик детонації) та якістю згоряння паливної суміші (датчик концентрації кисню у відпрацьованих газах).

Функціональні системи керування реалізують за різними технічними рішеннями [2, 3]. До основних функціональних систем, які складають комплексну систему керування ДВЗ можна віднести системи керування запаленням і уприскуванням палива, охолодженням двигуна і подачею повітря на холостому ходу (рис. 1.3).

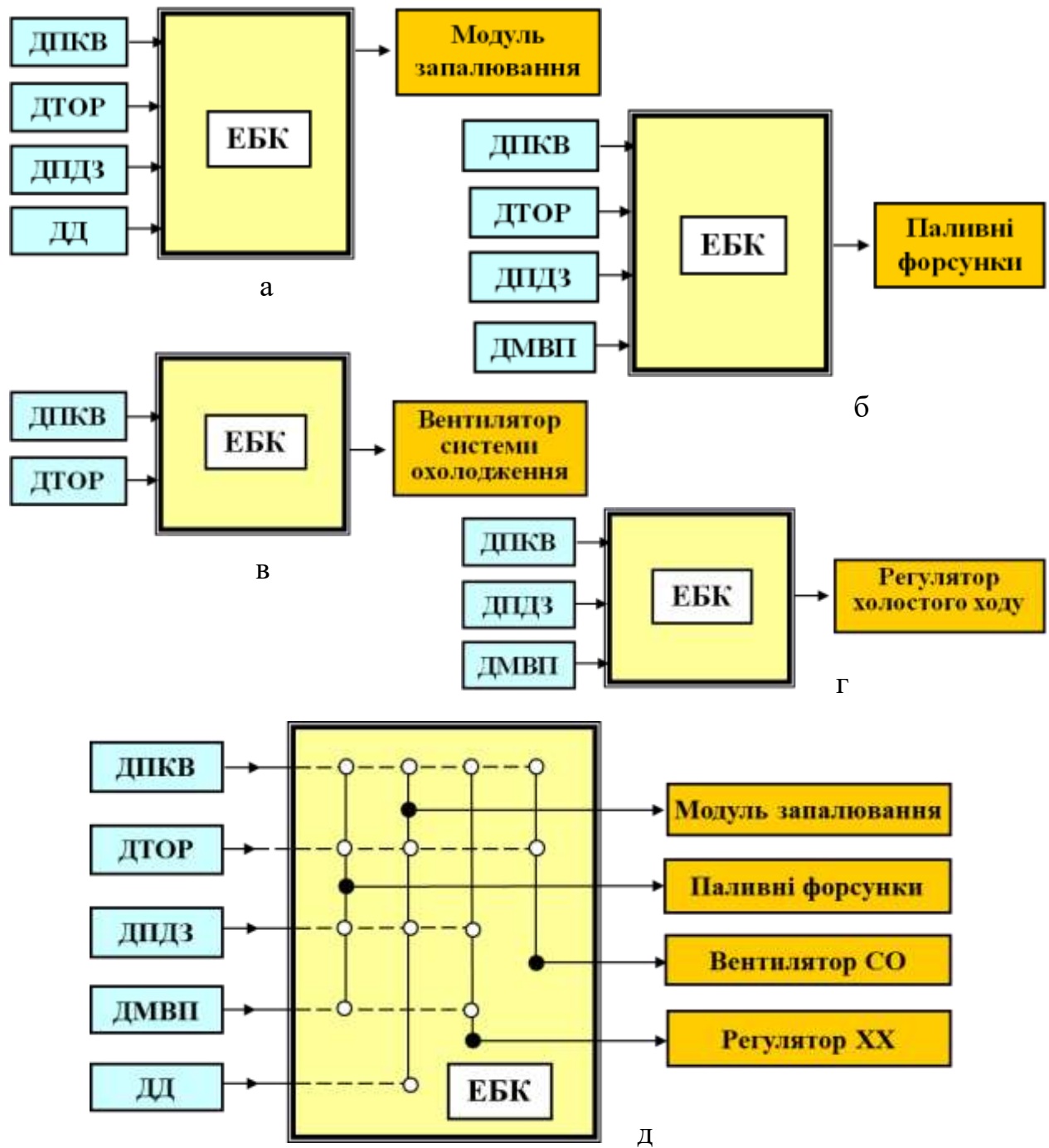


Рис. 1.3. Композиції систем керування ДВЗ:
а...г – функціональної структури; д – комплексної структури

У апаратну структуру систем керування входять датчики відповідних інформаційних сигналів:

- положення колінчастого валу ДПКВ;
- температури охолоджуючої рідини ДТОР;
- положення дросельної заслінки ДПДЗ;
- детонації ДД;
- масової витрати повітря ДМВП.

Як показує рис. 1.3, побудова комплексних (багатоканальних) систем, дозволяє мінімізувати перелік датчиків і реалізувати алгоритми керування в єдиному електронному блоці (Mono Electronic).

У комбінованих системах реалізуються алгоритми оптимального керування відразу декількома об'єктами (агрегатами, системами). У перелік комбінованих систем керування АТЗ можна віднести цифрові системи, побудовані на базі комплексних систем керування двигуном (DME – Digital Motor Electronic), в яких реалізуються додаткові функції керування автомобілем: ASC (курсової стабільності), MSR (тяговим моментом ДВЗ), EML (потужністю ДВЗ). Така комбінована система забезпечує задану водієм (бажану) потужність ДВЗ з припустимих режимом руху автомобіля. Наприклад, розглянемо систему DME-M (DME-Motronic), що застосована на автомобілі BMW моделі M-70 з дворядним 12-ти циліндровим ДВЗ (рис. 1.4).

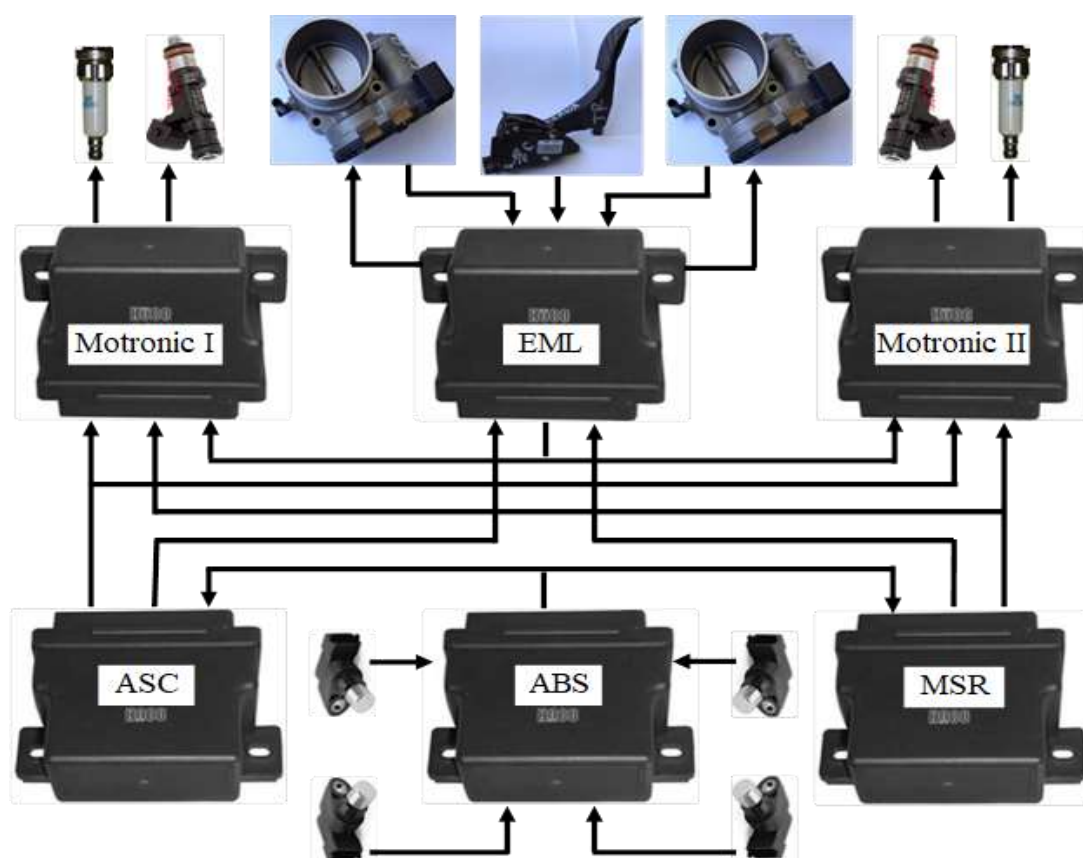


Рис. 1.4. Структура комбінованої системи керування ДВЗ

У контурі ручного керування системи використовується електронна педаль акселератора, положення якої забезпечує відповідне положення дросельних заслінок і бажану потужність ДВЗ. При цьому, керування системами запалювання і впорскування палива виробляється в автоматичному режимі. Підтримка допустимого режиму руху автомобіля відбувається також автоматично на підставі сигналів з датчиків кутової швидкості коліс системи ABS.

Система керування дросельними заслінками EML (Elektronische Motor Leistungsregelung) забезпечує координоване керування двома системами Motronic в частині синхронізації положення обох заслінок, режиму уприскування і моменту запалювання. За рахунок цього, система здійснює обмеження швидкості автомобіля або частоти обертання ДВЗ і адаптації обертів холостого ходу до робочих умов. Додатково, система дозволяє змінювати залежність між ходом педалі акселератора і положенням дросельної заслінки при різних частотах обертання ДВЗ і враховувати особливості характеристик застосовуваної коробки передач. Для вирішення цих завдань блок EML використовує інформацію, що надходить від режимних датчиків (частоти обертання ДВЗ, температури охолоджуючої рідини, швидкості руху автомобіля) та органів керування (перемикача режимів руху, електронної педалі акселератора, кнопки запиту на включення кондиціонера).

Комплексна система керування ДВЗ Motronic забезпечує оптимальний уприскування (тривалість спрацьовування форсунок) і запалювання (момент і енергію іскрового розряду) паливної суміші по циліндрах ДВЗ.

Система автоматичного керування стабільністю ASC (Automatic Stability Control) призначена для підтримки курсової стійкості при рушанні автомобіля з місця в разі надмірного натискання на педаль акселератора. За командою від ASC, система EML оцінює зчеплення коліс з дорогою і впливає на стан дросельних заслінок, обмежуючи крутий момент. Система ASC порівнює швидкості обертання передньої і задньої колісних пар і коліс правого і лівого борту. У разі виявлення різниці між швидкостями обертання коліс, система EML прикриває дросельні заслінки і через системи Motronic забезпечує більш пізній момент запалювання. Таким чином, в системі ASC задіяні системи EML, Motronic і ABS.

Система регулювання тягового моменту двигуна MSR (Motor Schleppmoment Regelung) також призначена для підтримки курсової стійкості автомобіля, тільки при скиданні потужності ДВЗ викликаній різким відпуском педалі акселератора. При цьому, провідні колеса обертаються повільніше вільних і виникає ймовірність руху автомобіля юзом. Щоб запобігти цьому, реалізується функція, зворотна ASC (через EML додається газ). При цьому активізується режим примусового холостого ходу і забезпечується більш раннє запалювання.

З позицій інформаційних зв'язків в комбінованих системах архітектурна композиція систем керування надається у вигляді топологічних схем. При цьому, для організації каналів зв'язку застосовуються інформаційні інтерфейси, які за способом реалізації діляться на звичайні незалежні і послідовні CAN інтерфейси (Controller Area Network).

Для демонстрації апаратної переваги зазначеного способу обміну інформацією, застосуємо в структурі системи (див. рис. 1.4) CAN-зв'язок між окремими ЕБК (рис. 1.5).

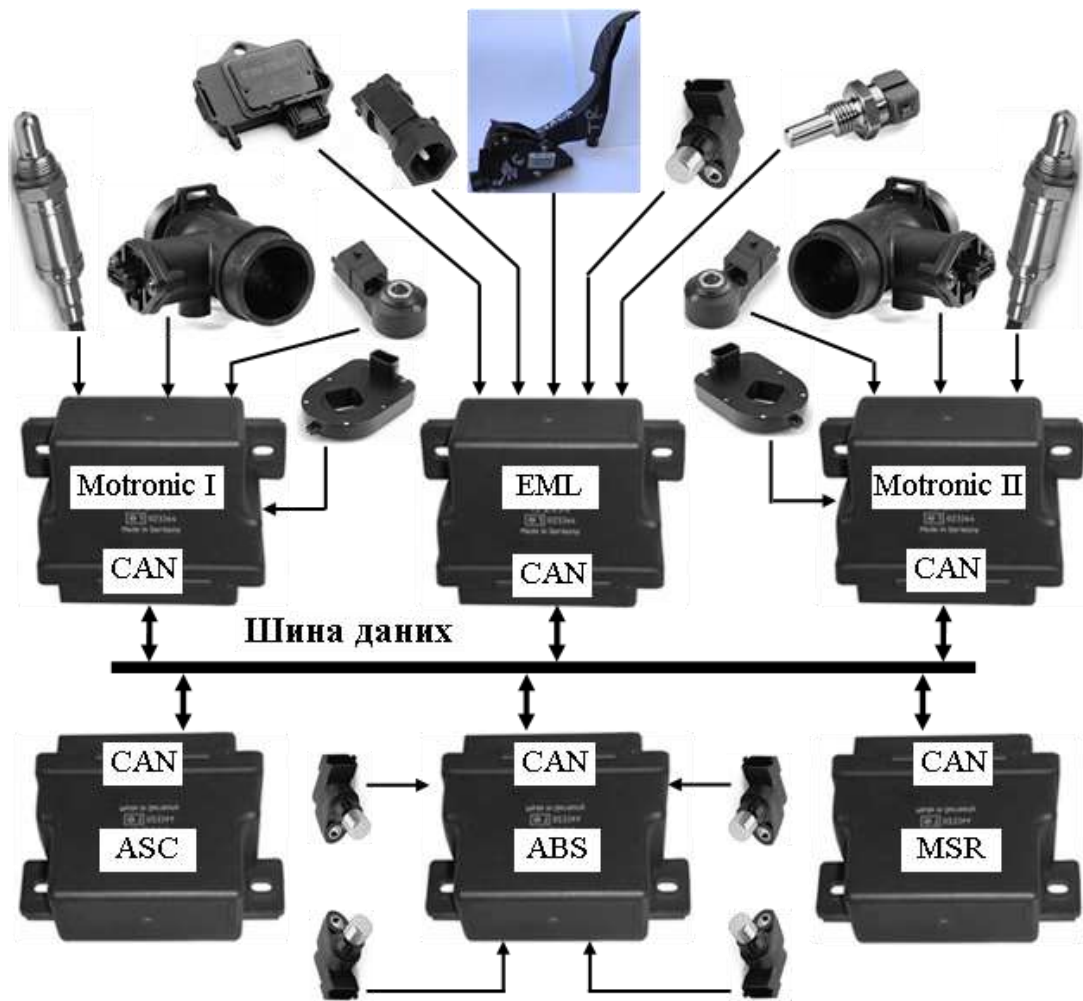


Рис. 1.5. Структура комбінованої системи керування з використанням CAN-лінії зв'язку

У розглянутій структурі можна виділити датчики: загального призначення для керування ДВЗ (положення педалі акселератора, положення колінчастого валу, температури охолоджуючої рідини, швидкості руху автомобіля, атмосферного тиску); індивідуального призначення по рядах циліндрів (положення дросельних заслінки, масової витрати повітря, детонації, концентрації кисню); ABS (кутової швидкості обертання коліс). Порівняння розглянутих варіантів структур показує, що одна шина (провід) CAN зв'язку замінює 10 ліній (16 проводів) інформаційних зв'язків між окремими блоками комбінованої системи.

Інформаційною перевагою CAN структури є принцип «Multi-Master», що забезпечує рівнозначність всіх кореспондентів системи обміну даними. Це означає, що несправність одного блоку системи не впливає на інші. При цьому, значимість спільної несправності комбінованої системи логічної структури істотно знижується в порівнянні з замкнутими системами або системами ієрархічної структури, в яких несправність одного блоку викликає несправність всієї комбінованої системи.

У механічних системах реалізуються функції автоматичного керування на механічному рівні з використанням відцентрових, вакуумних і температурних автоматів.

Електромеханічні системи реалізують функції напівавтоматичного керування з використанням електричних пристроїв під керуванням водія (кошти комутації, електричні виконавчі пристрої).

Електронні системи реалізують функції автоматичного і напівавтоматичного керування на аналоговому, цифровому або мікропроцесорному рівні із застосуванням засобів комутації, виконавчих пристроїв і датчиків.

Перевагою мікропроцесорних систем є універсальність їх побудови (алгоритмів функціонування) і застосування запам'ятовуючих пристроїв для зберігання калібрувальної інформації.

1.2. Характеристика датчиків і виконавчих пристроїв

Приклади конструкцій основних датчиків автомобільних електронних систем керування (ЕСК) [4] наведено на рис. 1.6.

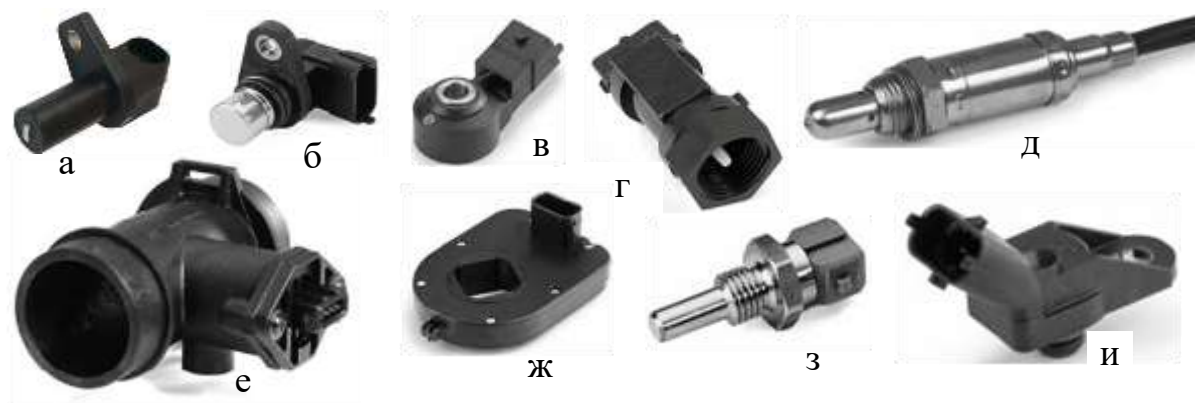


Рис. 1.6. Датчики автомобільних систем керування:

а – положення колінчастого валу; б – положення розподільного валу; в – детонації у циліндрі; г – швидкості руху автомобіля; д – концентрації кисню у відпрацьованих газах; е – масової витрати повітря через впускний трубопровід; ж – положення дросельної заслінки; з – температури охолоджуючої рідини; и – розрядження у впускному колекторі

Залежно від принципу будови датчики поділяють на пасивні, які підключаються до зовнішнього електроживлення, і активні, які генерують напругу сигналу.

Датчик положення колінчастого валу ДПКВ (рис. 1.6, а) індукційного типу (активний), енкриментного вимірювання, активізується за рахунок обертання зубчастого вимірювального диска поєднаного з КВ (рис. 1.7, а). Датчик встановлено на відстані $\Delta=1\pm0,2$ мм від зубців диска. Зубчастий поділ складає шість градусів (60 зубців), два зубці відсутні. Така конструкція диска дозволяє отримати на виході датчика 58 імпульсів знакозмінної напруги на один оберт колінчастого валу (сигнал кутового положення) та зареєструвати подвійний період сигналу при проходженні зони диска з відсутніми зубцями (рис. 1.7, б).

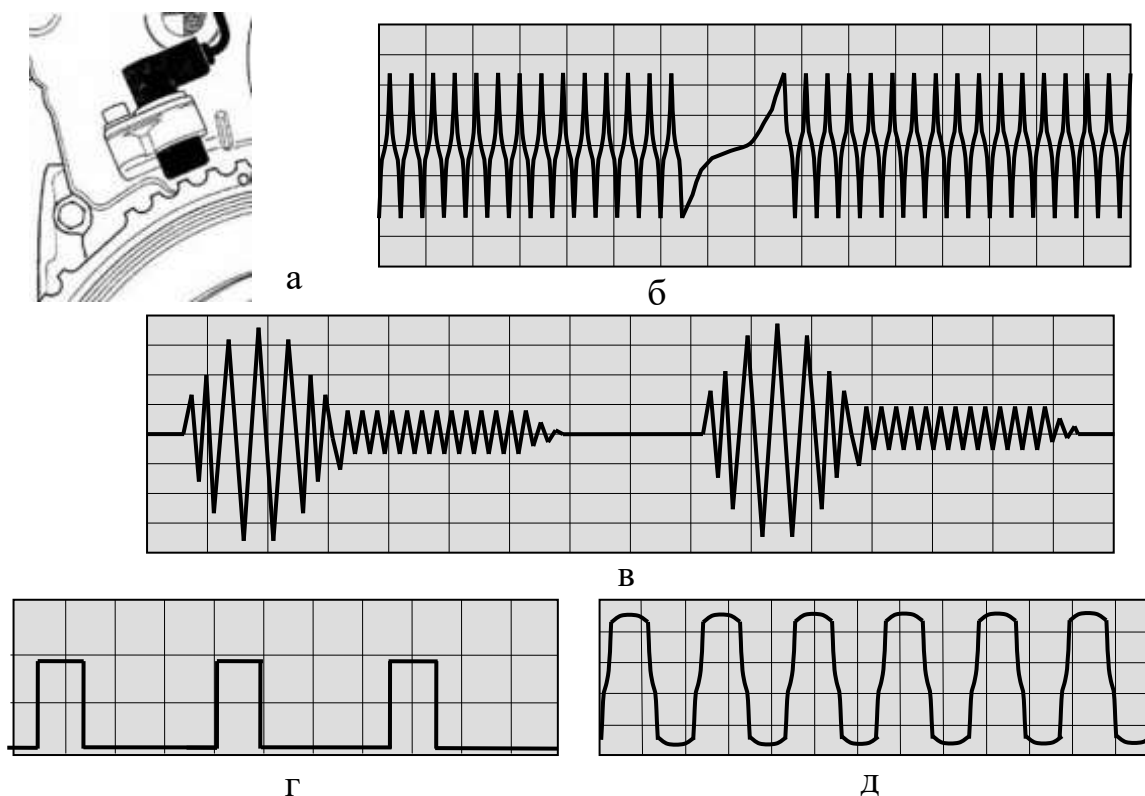


Рис. 1.7. Формування сигналів датчиків:

а – ансамбль датчика положення КВ; б – визначення кутового положення КВ;
в – детонації; г – швидкості руху; д – концентрації кисню

Отриманий синхронізуючий сигнал початку відліку збігається з положенням поршня у ВМТ. Таким чином, сигнал ДПКВ несе інформацію про частоту обертання КВ, його кутове положення (позицію поршнів) та момент проходження поршнем першого циліндра ВМТ. Частота і амплітуда імпульсів сигналу датчика пропорційні частоті обертання КВ та в швидкісному діапазоні двигуна $n=600\dots6000 \text{ хв}^{-1}$ відповідно дорівнюють $f_c=30\dots300 \text{ Гц}$, $U_c=0,6\dots6,0 \text{ В}$. У деяких системах керування в якості ДПКВ застосовуються оптичні (фотоелектричні) датчики або датчики на базі цифрових мікросхем Холла.

Датчик положення розподільного валу ДПРВ (рис. 1.6, б) побудований на базі цифрової мікросхеми Холла з торцевою активізацією. Призначений для ідентифікації першого циліндра (відрізнити ВМТ парних циліндрів) в системах керування з індивідуальними котушками запалювання або фазованими форсунками уприскування палива двотактних ДВЗ. Датчик встановлений поблизу випускного розподільного валу, на шківі якого, закріплена магнітна пластина, що активізує датчик. На датчик подається стабілізована напруга $U_d=5 \text{ В}$ та знімається цифровий вихідний сигнал двох рівнів $U_c=4,9/0,1 \text{ В}$. Ансамблі датчиків ДПКВ і ДПРВ фазовані таким чином, що наявність імпульсу ДПРВ під час проходження синхронізуючого сигналу ДПКВ, відповідає ВМТ першого циліндру, а його відсутність – ВМТ парного (четвертого) циліндру.

Датчик детонації ДД (рис. 1.6, в) п'єзоелектричний (активний), встановлений у верхній частині блоку циліндрів бензинового ДВЗ. При вібраціях двигуна датчик генерує сигнал (рис. 1.7, в), рівень напруги якого підвищується під час детонаційних процесів. Амплітудні значення напруги сигналу не перевищують $U_C < 10$ В при детонаційних процесах і становлять не менш як $U_C > 1$ В при нормальній роботі двигуна.

Датчик швидкості руху автомобіля ДША (рис. 1.6, г) роторної конструкції, побудований на базі цифрової мікросхеми Холла (ансамбль Холла). Статор датчика встановлений на штуцері коробки передач, а ротор, – з'єднаний із тросиком приводу спідометра. На датчик подається стабілізована напруга $U_D = 5$ В та знімається цифровий вихідний сигнал, який параметрується цифрованими значеннями амплітуди $U_C = 4,9$ В і шпаруватості імпульсів (рис. 1.7, г). Частота надходження імпульсів сигналу датчика пропорційна швидкості обертання ведучих коліс.

Датчик концентрації кисню ДКК (рис. 1.6, д) електрохімічного принципу дії (активний) застосовується у системах упорскування зі зворотним зв'язком по надлишку повітря у паливній суміші. Встановлюється на прийомній трубі глушника, може мати вмонтований підігрівач для активізації електрохімічної реакції. Сигнал датчика параметрується рівнем напруги на його виході, який залежить від значення парціального тиску кисню у відпрацьованих газах. Коли ДВЗ працює на збагаченій суміші ($\alpha < 1$), на виході датчика утворюється постійна напруга високого рівня $U_C = 0,7 \dots 1,0$ В. При переході на збіднену суміш ($\alpha > 1$), коли парціальний тиск кисню підвищується, вихідна напруга датчика значно зменшується до рівня $U_C = 0,05 \dots 0,1$ В. Така різка зміна рівня напруги (рис. 1.7, д) дозволяє реєструвати стехіометричний склад паливної суміші (періодичний сигнал). У різних системах керування можуть застосовуватися датчики кисню хіміко-резистивного або термоелектричного принципу дії на базі цирконієвих або титанових перетворювачів, які зовні різняться за кількістю виводів.

Датчик масової витрати повітря ДМВП (рис. 1.6, е) термоанемометричний (пасивний), з аналоговим вихідним сигналом. Розташований між повітряним фільтром і шлангом впускної труби. Датчик містить терморезистори і нагрівальний елемент, які утворюють вимірювальний міст. Напруга розбалансу моста при збільшенні витрати повітря підсилюється електронікою (мехатронна структура).

До датчика підключається стабілізована напруга $U_D = 5,0$ (живлення вимірювальної частини датчика) і напруга бортової мережі $U_B = 10,2 \dots 14,6$ В (для живлення нагрівача). Рівень напруги сигналу датчика змінюється пропорційно витратам повітря в межах $U_C = 0,9 \dots 3,4$ В.

В системах Motronic можуть застосовуватися термоанемометричні масметри з платиновим чутливим елементом, які формують аналоговий або частотно-імпульсний (цифрований частотно-модульований FM) вихідний сигнал. В менш досконалих системах керування замість масметрів використовуються потенціометричні витратоміри повітря з повітряною заслінкою або електроди-

намічні (тахометричні) витратоміри лопатного (турбінного) типу. В перспективних системах застосовуються вихрові інфрачервоні масметри повітря.

Датчик положення дросельної заслінки ДПДЗ (рис. 1.6, ж) потенціометричний поворотного типу, встановлений збоку на дросельному патрубку, механічно пов'язаний з віссю дросельної заслінки. Датчик підключається до стабілізованої напруги $U_d=5$ В. Напруга сигналу пропорційна куту повороту ДЗ становить $U_c=0,3...4,6$ В. Граничні значення напруги відповідають зачиненому (0% відкриття) і повністю відчиненому (100% відкриття) стану дросельної заслінки. В деяких системах керування ДВЗ застосовуються датчики оптоелектронного типу з кодуємим диском. Аналогічний датчик використовується в системах з електронним керуванням газу для реєстрації положення педалі акселератора. Граничні значення напруги відповідають нажатому та відпущеному положенню педалі.

Датчик температури охолоджуючої рідини ДТОР (рис. 1.6, з) виконаний на базі термістора з від'ємним температурним коефіцієнтом опору. Встановлений у випускному патрубку на голівці циліндрів. Живлення датчика здійснюється від стабілізатора напруги $U_d=5$ В через обмежуючий резистор. Опір датчика є вимірювальним плечем дільника напруги, на якому формується напруга вихідного сигналу $U_c=0,7...4,9$ В залежно від температури двигуна.

Датчик розрядження у впускному колекторі ДРПК (рис. 1.6, и) з п'єзорезистивним чутливим елементом і електронним перетворювачем сигналу (мехатронного типу). Встановлений за дроселем, визначає бажане навантаження ДВЗ. Пасивний датчик живиться стабілізованою напругою $U_d=5$ В, а на виході забезпечує пропорційний сигнал в діапазоні $U_c=0,5...4,5$ В, на підставі якого розраховується оптимальний склад паливної суміші (альтернатива ДМВП).

До переліку розглянутих слід додати датчики комплексних систем керування з функціями додаткового призначення:

- положення виконавчих пристроїв (клапанів, заслінок, актуаторів, приводів) різних функціональних систем;
- стану (рівня, температури, якості) робочих рідин;
- температури (повітря на впуску, палива, мастила, відпрацьованих газів);
- тиску повітря (атмосферного, у впускному трубопроводі, турбонаддува), мастила і відпрацьованих газів;
- окислів азоту у відпрацьованих газах;

До переліку виконавчих пристроїв комплексних систем керування ДВЗ, в першу чергу, слід віднести: котушки систем запалювання, паливні форсунки, регулятори холостого ходу, електроклапани різного призначення, електродвигуни вентиляторів системи охолодження і бензонасосів.

У сучасних системах керування запалюванням застосовуються котушки (КСЗ), що забезпечують статичний розподіл високої напруги по свічках циліндрів (рис. 1.8).

Двовивідні та чотирьох-вивідні КСЗ і модулі використовуються у системах з холостою іскрою. Індивідуальні КСЗ забезпечують незалежне керування запалюванням по циліндрах з фіксованим часом накопичення енергії.



Рис. 1.8. Різновиди конструкцій катушок запалювання:

б – двовивідні; а – модулі запалювання; в – індивідуальні; г – рампи катушок

Рампи КСЗ дозволяють реалізовувати обидва варіанти керування запалюванням і забезпечити рідинне охолодження обмоток трансформатора. На відзнаку від перших двох варіантів, в останніх двох не використовуються високовольтні проводи (низький рівень електромагнітних перешкод). Під модулем запалювання, на відзнаку від КСЗ, для варіантів (рис. 1.8, б, в, г) розуміють наявність в конструкції моноблоку транзисторних ключів (переривників). В таких модулях, окрім напруги живлення первинної обмотки $U_{\text{ж}}=12\text{ В}$ підводяться сигнали (імпульси) керування виконавчими транзисторами $U_{\text{с}}=5\text{ В}$.

Паливні форсунки (ПФ) бензинових ДВЗ призначені для дозування подачі та розпилу палива в циліндрах ДВЗ. Являють електромагнітні клапани з голчастим запірним пристроєм в паливній магістралі. Форсунки мають зовнішні конструктивні відзнаки, які визначаються типом системи уприскування (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Вигляд паливних форсунок різних систем уприскування:

а – центрального; б – розподіленого; в – безпосереднього; г – подачі газу

У центральних ПФ, завищений діаметр корпусу (рис. 1.9, а), необхідний для зберігання постійного запасу бензину під час його розпилу по всім циліндрам на режимах значних навантажень двигуна. Бензин надходить та зливається в магістраль через бокові отвори. В системах багатоточечного уприскування, на відзнаку від центрального, цей об'єм утримується в рампі форсунок та розподіляється по ПФ кожного циліндра, а паливо підводиться до штуцера на верхньому торці корпусу (рис. 1.9, б). Для реалізації систем з безпосереднім уприскуванням бензину у циліндри ДВЗ, потрібен подовжений хвостовик сопла (рис. 1.9, в). Конструкція газової ПФ характеризується укороченою довжиною

корпусу та малим діаметром хвостовика (рис. 1.9, г). Більшість форсунок ГБО встановлюються пакетами та мають характерні отвори в нижній частині корпусу для подачі газу в форсунку. Керування всіх типів ПФ здійснюється шляхом комутації струму в їх обмотках за допомогою ключових драйверів за схемою «вільного» колектору (відключення масового проводу) під напругою живлення бортової мережі $U_{\text{ж}}=12\text{ В}$.

Регулятори холостого ходу (РХХ) призначені для корекції перетину байпасного каналу подачі повітря на режимах холостого ходу ДВЗ. Дозволяють компенсувати втрати потужності і підтримувати мінімальні оберти двигуна при зачиненому дроселі. В ЕСК використовуються РХХ різного принципу будови (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Різновиди конструкцій регуляторів холостого ходу:

а – електро-термобіметалевий; б, в – електроклапанний;

г – з кроковим електродвигуном

В біметалевих РХХ, деформація чутливої пластини під дією температури спричиняє перекриття каналу подачі повітря. Ступінь перекриття визначається температурою двигуна і нагрівальної спіралі (електричне керування). В РХХ другого типу подвійний клапан активізується електромагнітом дискретної дії. Плавність регулювання подачі повітря, в перших двох типах РХХ, досягається за рахунок широто-імпульсної модуляції (ШІМ) струму керуючого сигналу (спіралі, обмотки) під напругою живлення бортової мережі $U_{\text{ж}}=12\text{ В}$. Третє покоління РХХ, являє електродвигун з мікро-ліфтовим (гвинтовим) редуктором приводу запірного конуса. Активізація крокового двигуна здійснюється різнополярними імпульсами струму через його обмотки під дією стабілізованої напруги $U_{\text{ж}}=5\text{ В}$. Послідовність і полярність керуючих імпульсів формується за допомогою спеціального драйвера (подвійного інвертора). Точність позиціонування таких РХХ визначається кількістю кроків на робочому зазорі запірного вузлу (до 255 імпульсів).

Електроклапани (ЕК) різного призначення мають однаковий принцип дії (електромагнітний) але різняться за напругою живлення, конструкцією запірного вузлу, параметрами обмотки (ампер-витками) та зовнішнім оформленням (рис. 1.11). Клапани, що працюють в періодичному режимі під ШІМ-керуванням (рис. 1.11, а), мають більший струм споживання та меншу кількість витків обмотки, а клапани випадкового спрацьовування – навпаки. Живлення клапанів підключається аналогічно ПФ.



Рис. 1.11. Електроклапани різного призначення:

а – редукційний паливний; б – відсічки палива; в – системи уловлювання випарів бензину; г – системи рециркуляції газів

Більш потужні виконавчі пристрої (нагрівачі повітря та пального, електродвигуни паливних насосів і силових актуаторів), що працюють у випадковому режимі керуються через дистанційні реле (контактори).

1.3. Способи реалізації керуючих впливів

У сучасних двигунах реалізується електричне керування багатьма раніше механічними системами, механізмами і вузлами. Розглянемо схеми перетворення електричних сигналів в керуючі впливи за допомогою виконавчих пристроїв, як окремі функціональні системи.

Система керування впуском повітря здійснює оптимальну подачу повітря для утворення робочої суміші на різних режимах ДВЗ. На холостому ході оберти ДВЗ підтримуються за рахунок подачі повітря через канал в обхід закритої дросельної заслінки (ДЗ), так званий байпасний канал, або через щілину, утворену ДЗ. У механічних системах, мінімальні оберти двигуна фіксовано встановлюються за допомогою гвинтів регулювання пропуску повітря 1 або початкової установки положення ДЗ 2 (рис. 1.12, а).

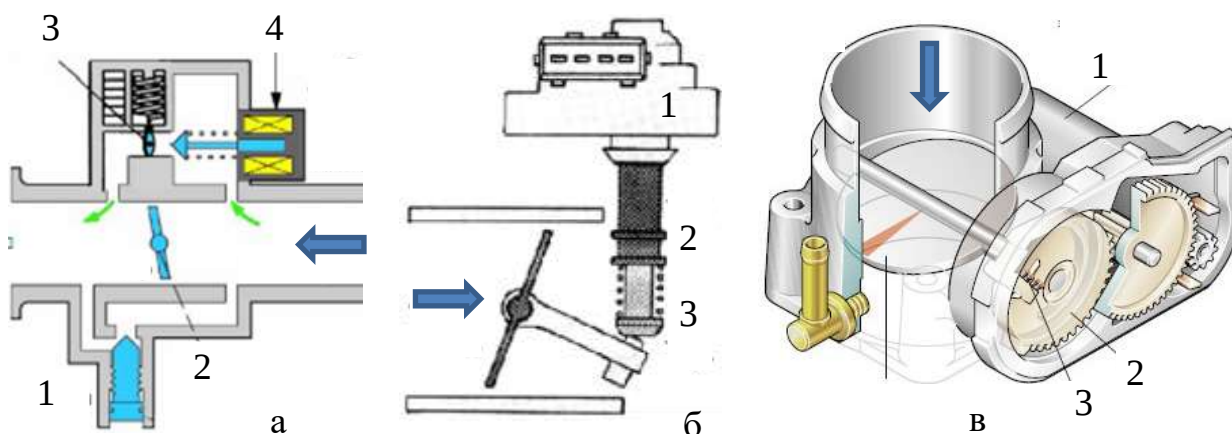


Рис. 1.12. Реалізація систем впуску повітря на холостому ході:

а – з байпасним каналом: гвинт регулювання 1, механічний коректор ДЗ 2, термобіметалевий коректор 3, РХХ 4;
б – з корекцією положення ДЗ: електродвигун 1, гвинтовий редуктор 2, шток приводу 3;
в – з керуванням положення ДЗ: електродвигун 1, шестерня приводу ДЗ 2, інкриментні датчики ДПДЗ

Оптимальна витрата повітря на холостому ходу залежить від температурного стану і механічних втрат ДВЗ. Для температурного коригування обертів холостого ходу використовуються термобіметалеві регулятори пропуску повітря безперервної дії 3. У сучасних системах для реалізації керуючих впливів використовується електропривод (зазвичай на базі крокового двигуна) запірного конуса в байпасному каналі або електропривод самої ДЗ, який позиціонує її початковий (частково відкритий) стан. У першому випадку (рис. 1.12, б), електропривод змінює положення заслінки по командах з ЕБК тільки в зоні холостого ходу, коли педаль акселератора відпущена. При цьому, в зоні робочих навантажень керування положенням заслінки здійснюється механічним способом через трос Бодена. У другому випадку, (рис. 1.12, в), електропривод змінює положення заслінки в усьому діапазоні навантажень ДВЗ через електронну педаль акселератора.

В інжекторних ДВЗ з безпосереднім вприскуванням бензину в циліндри використовується система впускних повітряних заслінок [5] (рис. 1.13).

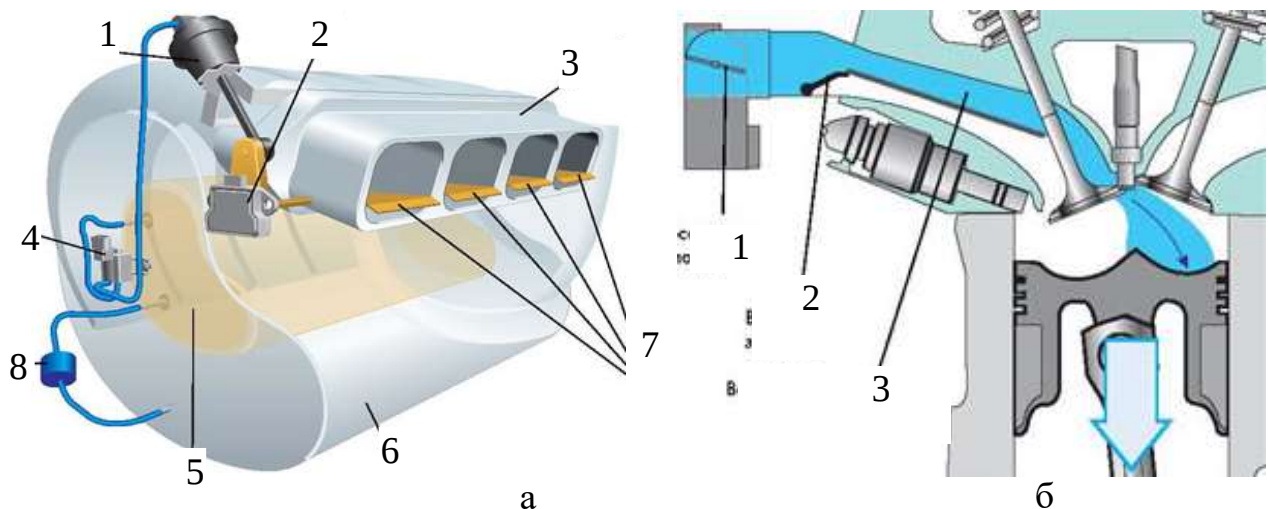


Рис. 1.13. Реалізація системи подачі повітря з впускними повітряними заслінками:

а – *конструкція*: вакуумний привід 1, датчик положення впускних заслінок 2, нижня частина впускної системи 3, клапан керування приводом заслінок 4, вакуумний ресивер 5, верхня частина впускної системи 6, впускні заслінки 7; зворотний клапан 8;

б – *керування потоком повітря при сумішоутворенні*: дросельна заслінка 1, повітряна заслінка 2, верхній впускний канал 3

При роботі двигуна на пошаровій і бідних гомогенних сумішах, а також на деяких режимах з використанням гомогенних сумішей стехіометричного складу, заслінки перекривають нижні частини впускних каналів, розташованих в головці циліндрів (рис. 1.13, б). При цьому, повітря проходить в циліндри тільки через верхні частини впускних каналів. Форма верхньої частини впускного каналу підібрана таким чином, щоб повітря закручувалося на вході в циліндр. Крім цього, підвищена швидкість проходження через звужений канал повітря сприяє сумішоутворенню. При цьому, реалізуються дві переваги:

- при пошаровому сумішоутворенні, вихровий рух повітря забезпечує перенесення палива до свічки запалювання (утворення суміші здійснюється в процесі цього руху);

- вихровий рух повітря створює умови для утворення гомогенних бідних і стехіометричної сумішей. Завдяки цьому, поліпшується займистість палива і досягається стабільне горіння бідних сумішей.

При роботі двигуна на режимах з високим навантаженням і при високих частотах обертання, повітряні заслінки відкриті, і повітря проходить в циліндри через обидві частини впускних каналів. Значний перетин впускного каналу забезпечує наповнення циліндра, необхідне для отримання високої потужності і крутного моменту.

Таким чином, на відміну від двигунів з зовнішнім сумішоутворенням, двигуни з безпосереднім вприскуванням мають більш складну систему впускного тракту (рис. 1.14).

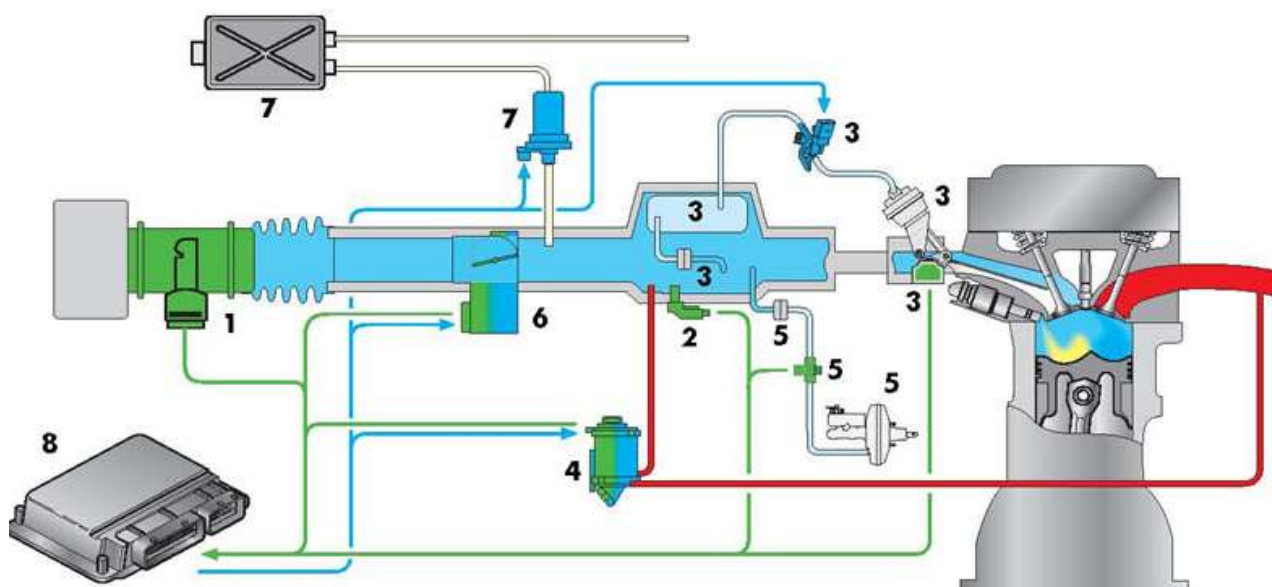


Рис. 1.14. Система впуску повітря двигуна MED 7:

1 – ДМВП; 2 – датчик розрядження системи рециркуляції газів; 3 – система впускних заслінок; 4 – ЕК системи рециркуляції ВГ; 5 – датчик розрядження системи вакуумного підсилювача гальм; 6 – модуль керування ДЗ; 7 – клапан продувки адсорбера; 8 – блок керування Motronic

На двигунах BMW N52 застосована аналогічна система керування повітряними потоками з використанням ефектів резонансних явищ [6]. У таких системах застосовують два електропривода заслінок, які забезпечують три ступені подачі повітря (рис. 1.15).

Привід заслінок здійснюється електродвигуном під ШІМ керуванням в двох станах заслінки (закрита/відкрита).

В інжекторних ДВЗ система подачі палива включає елементи паливного тракту, починаючи з паливного насоса, що погружається у бак і закінчуючи рампою паливних форсунок (рис. 1.16).

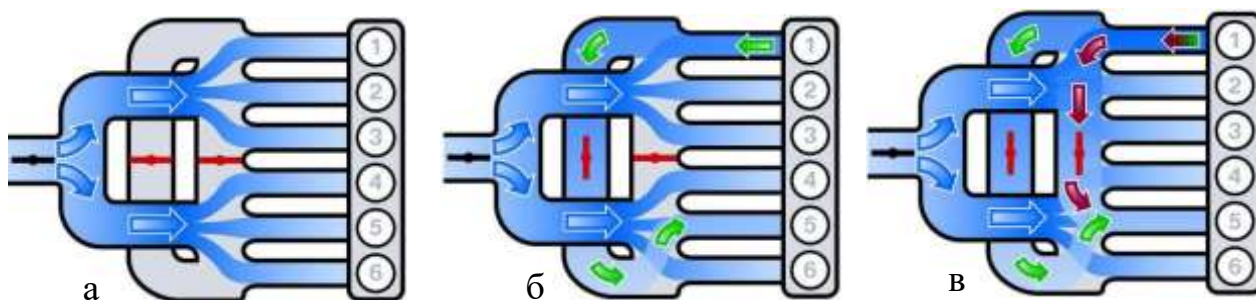


Рис. 1.15. Резонансна триступенева система впуску повітря DISA:

а – на обертах холостого ходу; б – в діапазоні середніх частот;
в – на швидкісних режимах ДВЗ

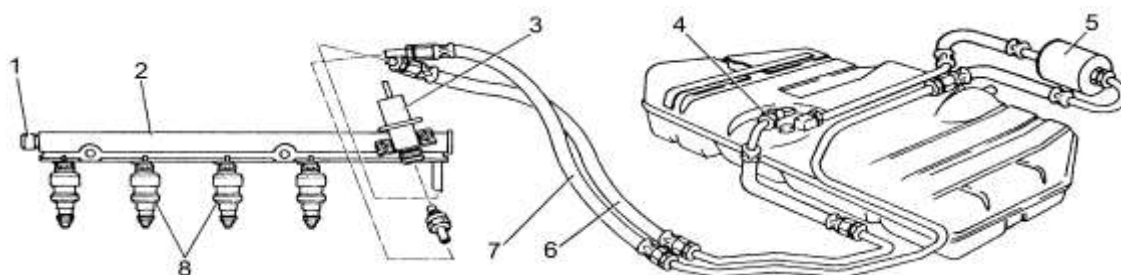


Рис. 1.16. Система подачі палива інжекторних ДВЗ:

1 – штуцер для манометра; 2 – рампа форсунок; 3 – регулятор тиску;
4 – електричний бензонасос; 5 – паливний фільтр; 6 – зливна магістраль;
7 – магістраль подачі палива; 8 – форсунки

Поряд з керуванням електродвигуном паливного насоса, система повинна забезпечувати необхідну температуру паливної суміші.

Система впорскування палива відповідає за якість (склад) паливної суміші, підтримуючи на стаціонарних режимах ДВЗ її оптимальне (стехіометричне) співвідношення паливо/повітря 1/14,7 (коефіцієнт надлишку повітря $\lambda=1$) при якому повністю згоряє паливо. Системи впорскування палива бензинових ДВЗ класифікують за кількома загальними ознаками (рис. 1.17).

Визначальною ознакою в назві електронних систем впорскування є місце уприскування палива (рис. 1.18).

Система запалювання забезпечує якість спалаху паливної суміші і ефективність перетворення хімічної енергії палива в теплову енергію спалаху. У цій системі оптимізації підлягають два параметри – енергія іскрового розряду і момент запалювання. Визначальною ознакою в назві сучасних електронних систем запалювання є спосіб розподілу вторинної напруги по свічках циліндрів (рис. 1.19).

Варіанти систем (рис. 1.19, б...е) здійснюють статичний розподіл іскри, з них (рис. 1.19, б...г) реалізують системи запалювання з холостою іскрою. Слід зазначити, що в сучасних системах запалювання застосовується датчик детонації, який забезпечує зворотний зв'язок системи для усунення детонаційних процесів, які можуть відбуватися в двигуні при деяких обставинах і умовах.

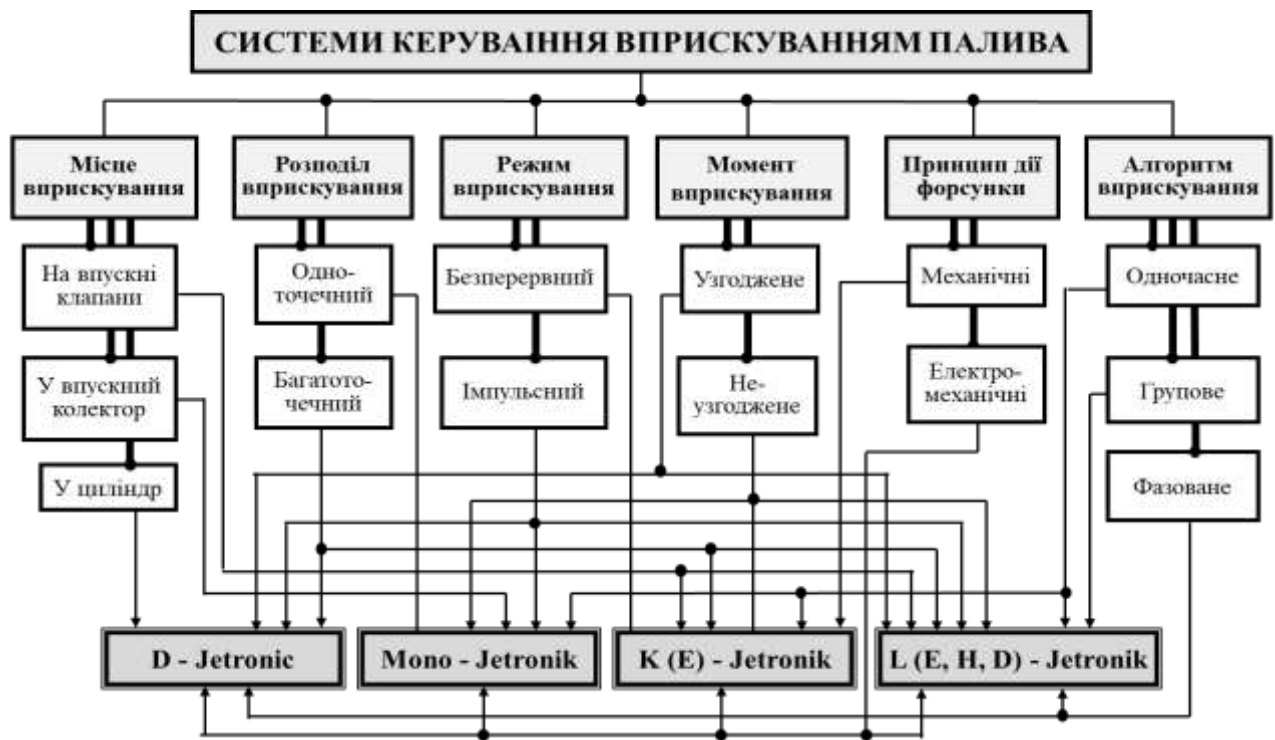


Рис. 1.17. Класифікація систем вприскування палива

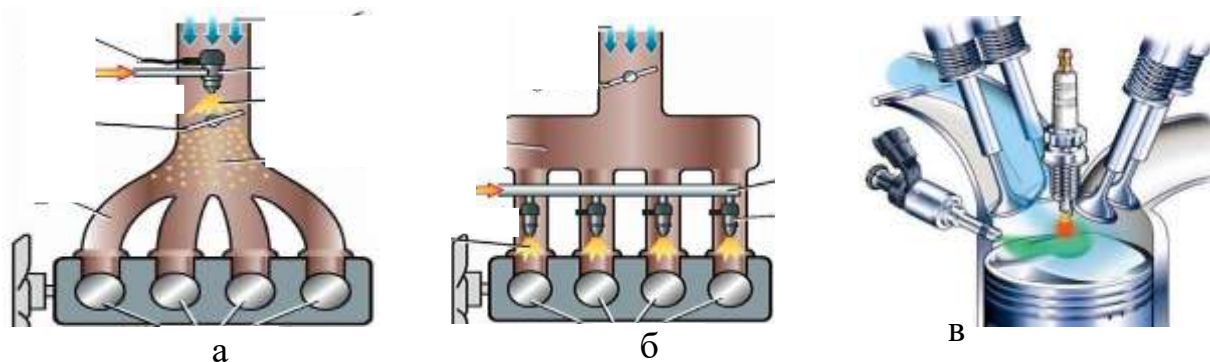


Рис. 1.18. Реалізація уприскування палива в системах:
а – Mono-Jetronic; б – L-Jetronic; в – D-Jetronic

Система газорозподілу керує впускними і випускними клапанами циліндрів і визначає ефективність перетворення теплової енергії спалаху робочої суміші в механічну енергію двигуна (тиск в кінці такту стиснення, коефіцієнт наповнення, індикаторний тиск, індикаторна потужність). Параметрами, що керують клапанами ГРМ, є тривалість, продуктивність і фаза їх відкритого/закритого стану. Застосування систем керування ГРМ дозволяє домогтися:

- помітного поліпшення роботи двигуна на холостому ході;
- зниження витрати палива;
- збільшення індикаторної потужності циліндра;
- підвищеного крутного моменту на різних обертах;
- внутрішньої рециркуляції ВГ, а з нею і зменшення викидів оксиду азоту в атмосферу.

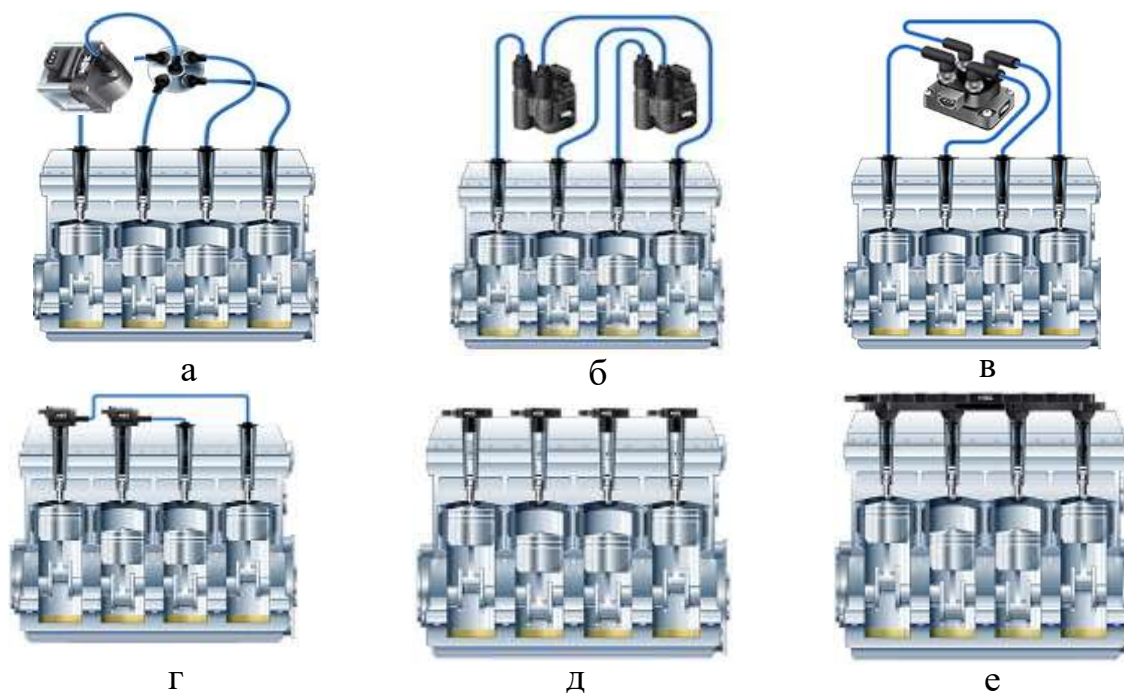


Рис. 1.19. Способи розподілу запалювання по циліндрах:

а – з роторним розподільником; б – з двовивідними котушками; в – з модулем запалювання;
д – з парними котушками; г – з індивідуальними котушками;
е – з рампою котушок запалювання

Системи керування ГРМ розрізняють за загальними класифікаційними ознаками (рис. 1.20).



Рис. 1.20. Класифікація систем керування ГРМ

Принциповою відмінністю систем керування ГРМ різного типу є спосіб їх реалізації: за допомогою повороту распредвалу; застосування кулачків різної форми; зміною висоти підйому клапанів.

У системах з тангенціальною корекцією, розподільний вал повертається відносно початкового положення виконавчим пристроєм. Така корекція кутового положення валу на різних експлуатаційних режимах призводить до зміни моменту відкриття/закриття впускних і випускних клапанів, підвищуючи ефективну потужність ДВЗ.

Тривалість фази впуску робочої суміші або випуску ВГ коригується шляхом зміни профілю кулачка. Для цього, на валі встановлюють кулачки з різними профілями робочої поверхні (однакової висоти), які забезпечують двоступеневий режим функціонування ГРМ.

Корекція ходу клапана, що відповідає за пропускну здатність газового каналу, може здійснюватися або за рахунок відхилення осі розподільного валу відносно штовхачів, або введенням між ними передаточної ланки, або застосуванням кулачків різної висоти.

Найбільш ефективно керування ГРМ за допомогою електронних систем забезпечується шляхом використання клапанів з електромагнітним приводом. При цьому, поліпшення технічних характеристик (функціональності, зниження енергоспоживання і гучності, підвищення швидкодії) домагаються різними конструктивними рішеннями. Крім того, автономне керування клапанами дозволяє забезпечувати алгоритм відключення окремих циліндрів для обмеження надлишкової потужності ДВЗ і економії палива на певних режимах руху автомобіля. До того ж, при незалежному керуванні запалюванням і газорозподілом, виникає унікальна можливість запуску двигуна в основному за рахунок енергії спалаху паливної суміші в циліндрах.

Система охолодження (СО) підтримує сприятливий температурний режим ДВЗ. На сучасних автомобілях мехатронні системи охолодження, крім основної, виконують ряд інших функцій:

- нагрівання повітря в системі опалення;
- охолодження масла в системі змащення;
- охолодження ВГ в системі їх рециркуляції;
- охолодження робочої рідини в автоматичній коробці передач;
- охолодження повітря в системі турбонаддува.

Найпростіше електронне керування в основному контурі охолодження реалізується за рахунок включення електроventилятора радіатора, електронасоса або перепускного електроклапана (ЕК) витрати охолоджуючої рідини (ОР) за визначеним алгоритмом, залежно від температури двигуна, частоти обертання колінчастого валу і роботи кондиціонера. Для перемикання потоку ОР на малий контур при прогріванні двигуна, використовується термостат і паралельно з ним перепускний електроклапан. У системах електронного керування, також використовується електроклапан дегазації ОР, який контролює об'єм рідини в контурі дегазації при підвищенні температури і обмежує циркуляцію ОР з метою прискорення прогріву двигуна. Клапани керуються ШІМ-сигналом.

Допоміжний контур обігрівача салону в напівавтоматичному режимі задіється через ЕК або перепускную заслінку з електроприводом. При цьому, підтримка заданої температури в салоні виконується автоматично (рис. 1.21).

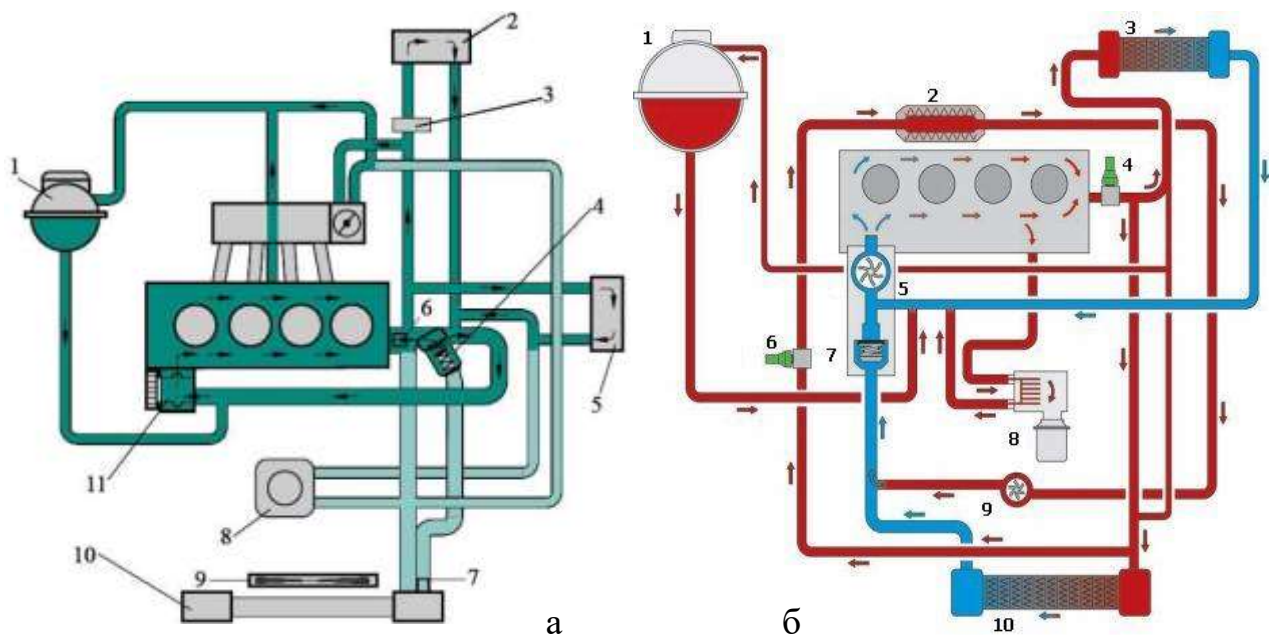


Рис. 1.21. Системи з додатковими контурами охолодження:

а – *коробки передач*: розширювальний бачок 1, радіатор системи опалення 2, ЕК відключення радіатора системи опалення 3, розподільник ОР з електричним термостатом 4, масляний радіатор КП 5, ДТОР на виході з двигуна 6, ДТОР на виході з радіатора 7, масляний радіатор ДВЗ 8, електровентилятори 9, основний радіатор СО 10, рідинний електронасос 11;

б – *системи рециркуляції ВГ*: розширювальний бачок 1, радіатор системи рециркуляції відпрацьованих газів 2, теплообмінник опалювача 3, ДТОР в контурі радіатора опалювача 4; насос ОР 5, ДТОР на виході радіатора 6; термостат 7; масляний радіатор ДВЗ 8; додатковий електронасос ОР 9; основний радіатор 10

Застосування системи охолодження з електронним регулюванням температури дозволяє регулювати (оптимізувати) температуру ОР при частковому навантаженні двигуна в межах від 95 °С до 110 °С і при повному навантаженні - від 85 °С до 95 °С. Згідно з програмою оптимізації, закладеної в пам'ять блоку керування двигуном, за допомогою дії термостата і вентиляторів, досягається необхідна робоча температура двигуна.

Відмітною ознакою системи (рис. 1.20, а) є використання розподільника 4 [7]. У ЕБК двигуна надходить додаткова інформація про температуру ОР на виході з радіатора і положення потенціометра регулятора системи опалення. На виході ЕБК формуються сигнали керування термостатом і вентиляторами радіатора.

Розподільник являє собою пристрій для спрямування потоку ОР в малий або великий контур. В термостаті розподільника встановлений додатковий нагрівальний елемент (рис. 1.22).

Згідно позиціям рис. 1.22 позначено: 1 – потік ОР від основного радіатора; 2 – зона відстоювання ОР при закритій клапанній тарілці; 3 – велика клапанна тарілка; 4 – потік ОР від двигуна; 5 – потік ОР від системи опалення; 6 – потік ОР від масляного радіатора; 7 – потік ОР від рідинного насоса; 8 – мала

клапанна тарілка; 9 – електронний термостат; 10 – пружина; 11 – штифт; 12 – термочутливий наповнювач; 13 – резистивний нагрівальний елемент.

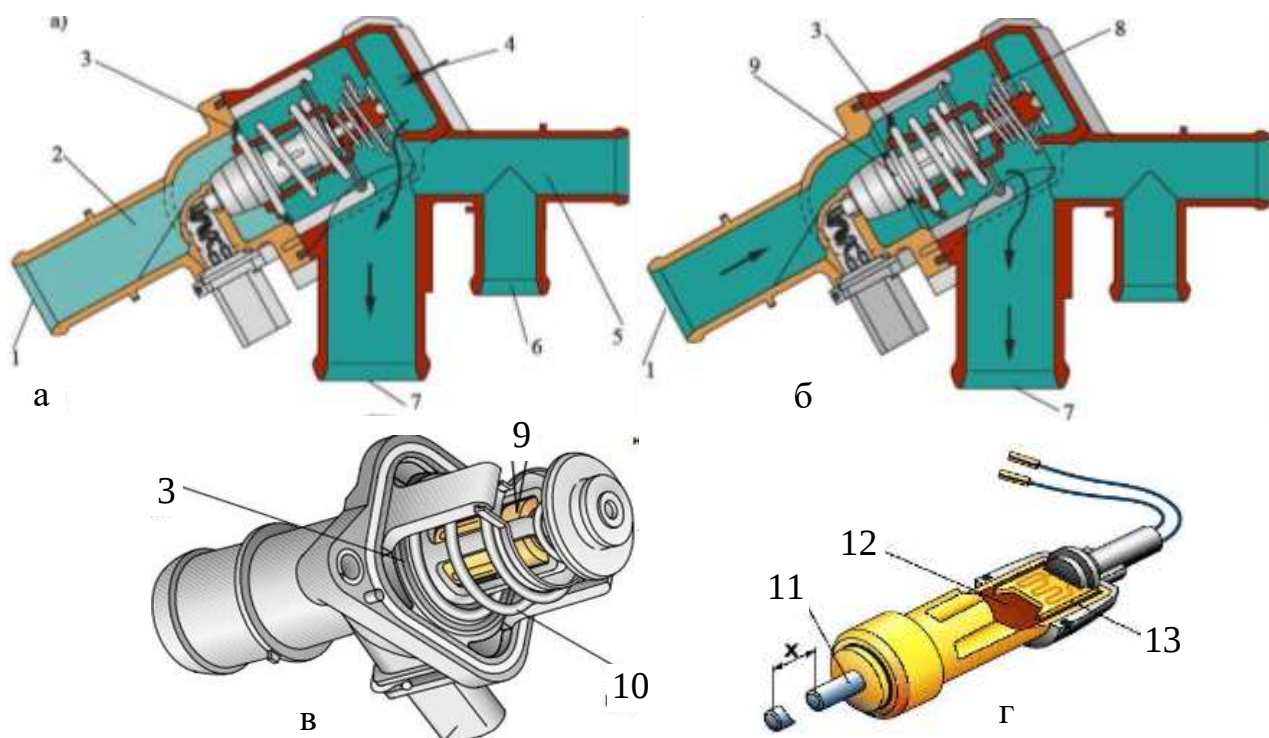


Рис. 1.22. Устрій розподільника ОР з електричним термостатом:

а – схема циркуляції і по малому контуру; б – схема циркуляції по великому контуру;
в – термостат в зборі; г – виконавчий пристрій

При нагріванні ОР наповнювач 12 розріджується і розширюється, що веде до підйому штифта 11. Коли нагрівач знеструмлений, термостат діє як традиційний, однак температура його спрацьовування підвищена і становить 110 °С (температура ОР на виході з двигуна). У наповнювач вбудований нагрівач 13. При подачі струму на виконавчий пристрій, наповнювач 12 впливає на штифт 11. Штифт, в цьому випадку, переміщається не тільки під дією нагрітої ОР, а й під дією нагрівача 13, а ступінь його нагрівання визначає ЕБК відповідно до закладеної в нього програмою оптимізації температури ОР. Ступінь нагріву наповнювача задається ШІМ-регулятором струму нагрівача.

Термостат вступає в дію тоді, коли фактична температура ОР виходить за межі допустимих значень для заданого навантаження ДВЗ. Керування термостатом здійснюється відповідно до значень температури ОР, закладених у характеристичних картах, залежно від навантаження двигуна, частоти обертання колінчастого валу, швидкості руху автомобіля і температури повітря.

Для швидкого прогрівання двигуна після його запуску, задіється малий контур охолодження, в який включені теплообмінник системи опалення і масляний радіатор. Алгоритм корекції ступеня охолодження включається при перемиканні на великий контур охолодження, коли температура ОР досягає встановленого значення 110 °С, або двигун працює під граничним навантаженням (по команді ЕБК). При цьому, нагрівач термостата активізується і в розподіль-

нику відкривається шлях для ОР з радіатора. Одночасно, мала клапанна тарілка перекриває шлях до насоса в малому контурі. Насос подає ОР з головки блоку безпосередньо до радіатора. Охолоджена рідина з радіатора надходить у нижню частину блоку двигуна і звідти засмоктується насосом. Можлива також комбінована циркуляція ОР. При цьому, частина рідини проходить по малому контуру, а частина – по великому. Аналогічна система розподілу теплових потоків може бути застосована і для контуру охолодження ВГ (рис. 1.21, б).

Додатковий електронасос в СО може виконувати одну з функцій:

- додаткове охолодження двигуна;
- забезпечення роботи автономного обігрівача, який включено в СО;
- охолодження ВГ в системі рециркуляції ВГ;
- охолодження турбонагнітача;
- прокачування ОР після вимкнення двигуна.

На деяких двигунах для швидкого прогрівання двигуна встановлюються механічні насоси ОР з електричним відключенням (електромагнітна муфта).

Система керування ступенем стиснення в циліндрах дозволяє значно підвищити ефективну потужність двигуна шляхом зміни об'єму камери згоряння. При цьому, оптимізується безпосередньо потужність двигуна, яка необхідна на певних експлуатаційних режимах. Як наслідок, така оптимізація приводить до економії палива і відповідно підвищення питомої потужності ДВЗ. Технологія зміни ступеню стиснення VCR (Variable Compression Ratio) передбачає різні схеми і способи реалізації керуючих впливів [8] (рис. 1.23).

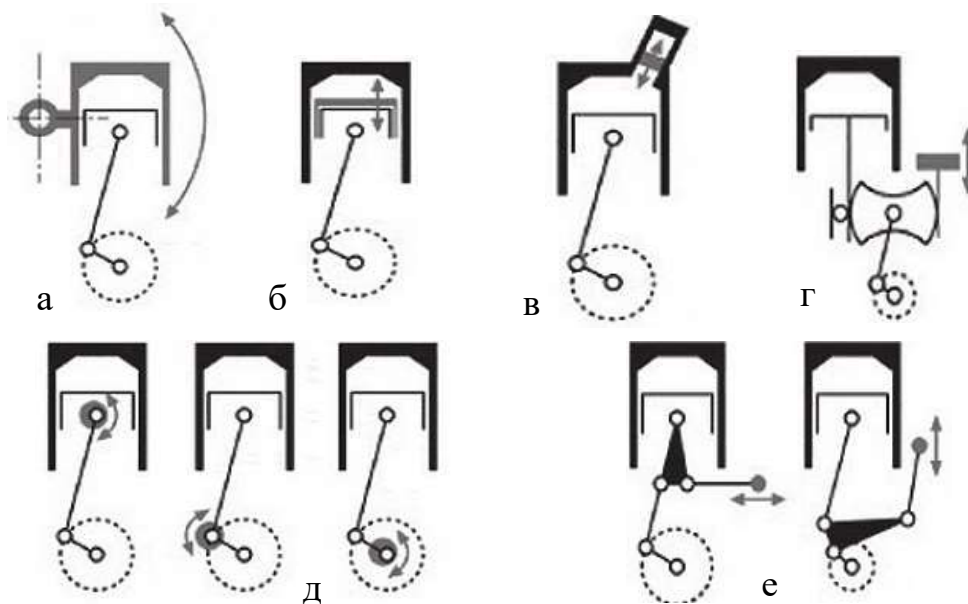


Рис. 1.23. Способи зміни ступеню стиснення в циліндрі:

- а – нахилом циліндра (остова двигуна); б – телескопічним поршнем (висоти поршня);
 в – додатковою камерою (об'єму камери згоряння); г – зчленуванням шатуна і поршня через траверсу (робочої зони поршня); д – ексцентриковими втулками (довжини шатуна, радіусу кривошипа, висоти КВ); е – складовим шатуном (ходу поршня)

Для активізації лінійних і поворотних приводів (переміщень робочого органу), в наведених схемах, можуть використовуватися лінійні електромагнітні приводи (тягові реле) і крокові електродвигуни, а також гідроелектричні приводи з електроклапанами і електронасосами.

До екологічних систем слід віднести системи утилізації випарів палива, рециркуляції і нейтралізації ВГ [9] (рис. 1.24).

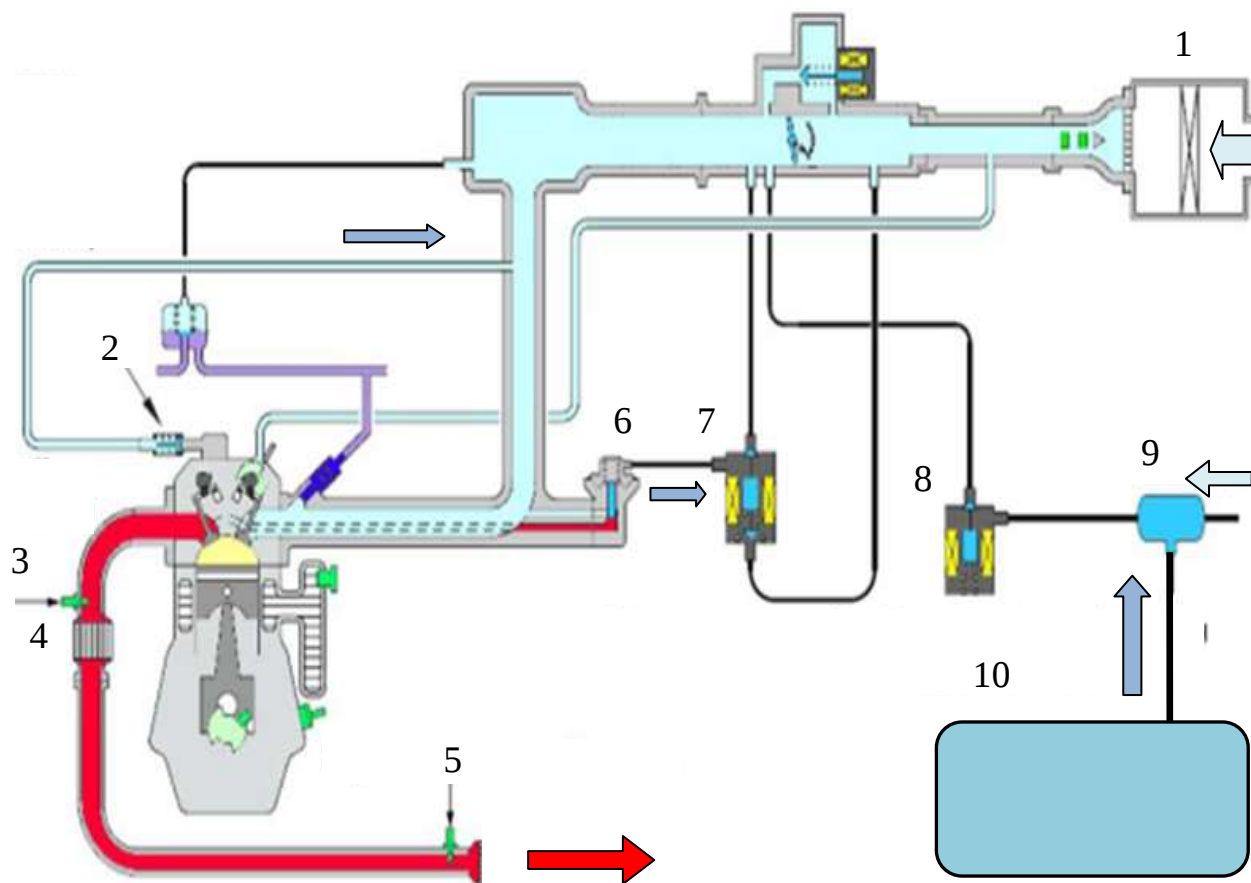


Рис. 1.24. Схема реалізації екологічних систем ДВЗ:

- 1 – повітряний фільтр; 2 – клапан продувки картера; 3 – перший датчик ДКК;
- 4 – нейтралізатор ВГ; 5 – другий датчик ДКК; 6 – запірний клапан системи EGR;
- 7 – електромагнітний клапан системи EGR; 8 – електромагнітний клапан продувки адсорбера; 9 – вугільний адсорбер; 10 – паливний бак

Система утилізації випарів бензину EVAP (Evaporative Emission Control Petrol) покращує екологічні та паливо-економічні показники ДВЗ. Випари палива, які надходять з паливного баку 10, абсорбуються у вугільному фільтрі 9. По командах з ЕБК відкривається клапан 8 і конденсат палива разом з повітрям, що надходить ззовні, всмоктується у впускний колектор, як додаткова доза паливної суміші.

Нейтралізатор 4 знижує вміст шкідливих компонентів шляхом термічного, окисного або відновлювального впливу на ВГ. Контроль ефективності впливу екологічних систем на склад ВГ здійснюється першим датчиком 3, за сигналами з якого, через ЕБК (зворотний зв'язок) коригується режим паливних

форсунок. Другий датчик 5 на виході вихлопного тракту контролює ефективність функціонування (справність) нейтралізатора 4.

Система рециркуляції відпрацьованих газів EGR (Exhaust Gas Recirculation) дозволяє знизити концентрацію шкідливих викидів оксидів азоту в вихлопі ДВЗ на певних режимах. Система EGR не призначена для поліпшення технічних характеристик двигуна, а встановлюється виключно з екологічних міркувань на бензинові (крім турбованих) і дизельні ДВЗ. У бензинових моторах рециркуляція ВГ дозволяє знизити витрату палива на 2...3% і ризик виникнення детонації.

Процес рециркуляції ВГ (повернення частини ВГ в циліндр) здійснюється різними способами (пневмомеханічним, електропневматичним, електричним). У першому випадку, використовуються клапан примусової вентиляції картера 2 або запірний клапан 6. Електричне керування (оптимізація) ступенем рециркуляції реалізується за допомогою перемикаючого електроклапана 7.

Алгоритм роботи EGR залежить від типу двигуна. У бензинових двигунах, EGR не включається на холодному двигуні, на холостому ході і на обертах максимального крутного моменту. При низькому та середньому навантаженні, система забезпечує 5...10% повітря, що подається на впуск. Клапан EGR може встановлюватися на впускному колекторі, у тракті всмоктування, або безпосередньо на блок дросельних заслінок.

У електропневматичних системах роботою клапана керує ЕБК двигуна на підставі показань датчиків. Залежно від того, який датчик є основним, розрізняють чотири типи систем [10]:

- з датчиком протитиску ВГ;
- з датчиком температури ВГ;
- з датчиком положення клапана EGR;
- з датчиком тиску на впуску (або датчиком масової витрати повітря) разом з датчиком кисню (лямбда-зондом).

Крім того, використовуються і інші датчики системи керування двигуном, наприклад: датчик положення дросельної заслінки, температури охолоджуючої рідини і ін. ЕБК в потрібні моменти подає сигнали на електроклапан, який підключає або відключає джерело розрідження до пневмоклапанів EGR, Електроклапан має тільки два положення – відкритий і закритий. У більш досконалих системах використовується електропневматичний перетворювач, який забезпечує плавне регулювання ступеню рециркуляції. Для створення розрідження в деяких конструкціях EGR може використовуватися вакуумний насос.

В електронних системах EGR, керування клапаном здійснює безпосередньо ЕБК без використання вакууму. Існує два типи цифрових клапанів EGR – з трьома або двома отворами різного перетину. Отвори закриваються соленоїдами в різних комбінаціях, забезпечуючи від 3 до 7 рівнів рециркуляції. Більш досконалим є клапан, плавно керований кроковим електродвигуном.

1.4. Устрій та функціонування систем впорскування палива

Для оптимізації складу паливної суміші в бензинових ДВЗ, у міру їх розвитку, застосовуються різні механічні пристрої електромеханічні модулі і мехатронні системи:

- карбюратори різних поколінь (механіка);
- карбюратори з електроклапаном системи ЕПХХ (аналоговий електронний блок керування);
- карбюратори системи Ekotronic (мікропроцесорна система керування);
- системи впорскування з механічними паливними форсунками.
- системи впорскування з електромагнітними ПФ.

Дамо характеристику систем впорскування, які існують на даний час згідно їх класифікаційних ознак, і відзначимо принципи реалізації керуючих впливів.

K-Jetronic (Kontiniuerlich – безперервність, Jet – струмінь) – механічна, багатоточечна система, безперервного водночас не-узгодженого впорскування перед впускними клапанами. Дозування палива здійснюється за рахунок зміни його тиску за допомогою дозатора-розподільника палива на підставі реакції механічного витратоміра повітря. Завдяки цьому, на потужних режимах ДВЗ підтримується стехіометричний склад паливної суміші. Для оптимізації процесу впорскування в режимі пуску (коли двигун не прогрітий) в системі передбачена пускова паливна форсунка, яка на час пуску забезпечує збагачення паливної суміші. Додаткове збагачення паливної суміші також використовується в режимі повного навантаження. Таким чином, дозування палива в системі *K-Jetronic* відбувається залежно від навантажувального режиму та температурного стану ДВЗ. Слід додати, що система впорскування *K-Jetronic* хоча і реалізована на механічному рівні, але в ній використовуються електричні пристрої такі як: електричний паливний насос, термобіметалевий регулятор підігріву двигуна, електромагнітний клапан додаткової подачі повітря, термореле часу, електромагнітна пускова форсунка, електронне реле керування.

KE-Jetronic (E – Electronic) за атрибутами класифікаційної структури відповідає ознакам системи *K-Jetronic* за винятком технічного рішення. Керування подачею палива в цій системі реалізовано на електронному рівні із застосуванням датчиків вимірювальної інформації і електричних виконавчих пристроїв [11, 12] (рис. 1.25).

При запуску двигуна, коли розрядження у впускному колекторі недостатньо, включається в роботу пускова форсунка 2 під тиском, створюваним насосом 16. Тривалість впорскування через неї, регламентується часом спрацювання біметалічного термореле 5 (температурного таймера).

Додаткова подача повітря на холостому ходу, при холодному пуску й прогріванні двигуна, здійснюється через байпасний канал через ЕК регулятора з поворотною заслінкою 8.

На робочих режимах ДВЗ, паливо під тиском, створюваним насосом 16, через регулятор тиску 4 і дозатор-розподільник 3 надходить до форсунок 1.

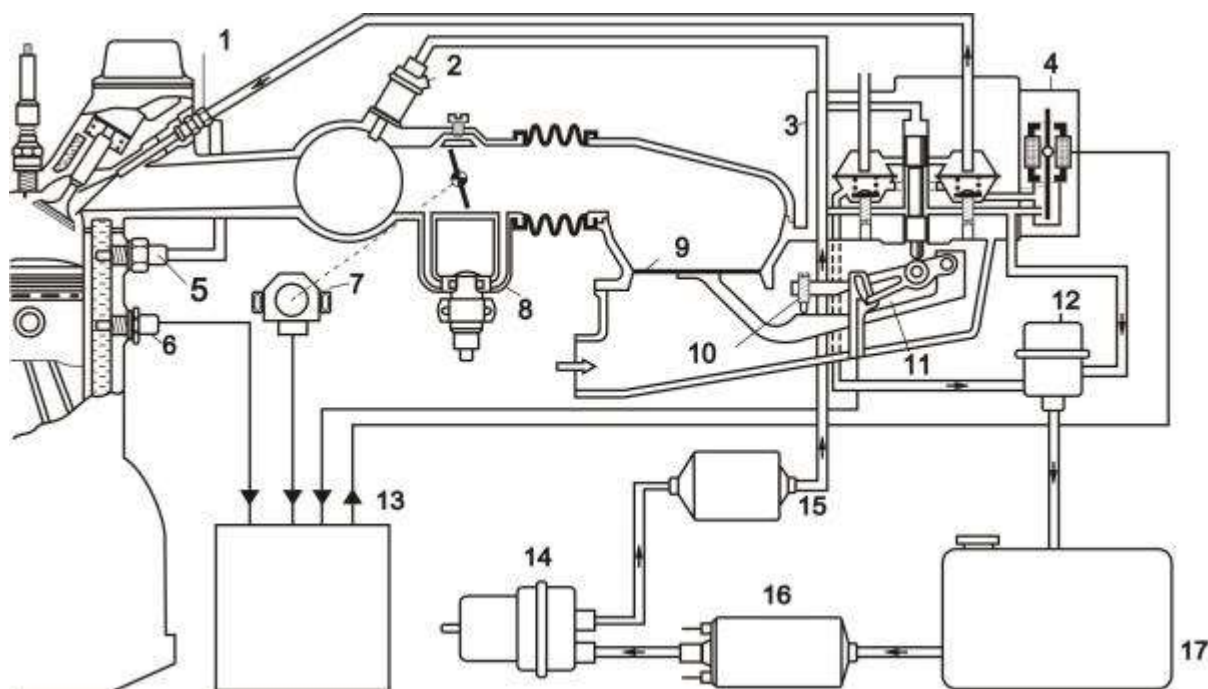


Рис. 1.25. Система впорскування KE-Jetronic:

- 1 – робоча форсунка; 2 – пускова форсунка; 3 – дозатор-розподільник; 4 – регулятор керуючого тиску; 5 – термореле; 6 – датчик ДТОР; 7 – вимикач ДЗ; 8 – клапан додаткової подачі повітря; 9 – напірний диск; 10 – гвинт регулювання складу суміші; 11 – потенціометр; 12 – регулятор тиску палива; 13 – ЕБК; 14 – накопичувач палива; 15 – паливний фільтр; 16 – паливний електронасос; 17 – паливний бак

Форсунки розпилюють паливо, кількість якого визначається його тиском залежно від навантаження (розрідження у впускному колекторі) і температури ОР.

Регулювання кількості палива забезпечується дозатором 3, який механічно коригується витратоміром повітря (ротаметром) і електрогідравлічним регулятором керуючого тиску 4. Таким чином, тиск на вході форсунки визначається за сигналами датчиків ДТОР 6, ДПДЗ 7, положення ротаметра 11 і частоти обертання колінчастого валу двигуна (розподільника запалювання).

Дозатор-розподільник має диференціальні (розділені діафрагмою) клапани відповідно до кількості циліндрів двигуна. Нижні камери 8 з'єднані кільцевим трубопроводом з регулятором 10, а верхні 7, – з форсунками циліндрів (рис. 1.26).

При навантаженні двигуна, поршневий розподільник дозатора (розташований між диференціальними клапанами) піднімається під дією ротаметра, відкриваючи дозуючі щілини і збільшуючи тиск палива в верхніх камерах 7. При цьому, перепад тиску між камерами 7 і 8, залишається постійним. Регулятор тиску 10 в нижніх (компенсуючих) камерах 8 являє диференціальний вібраційний перетворювач тиску з електронним керуванням.

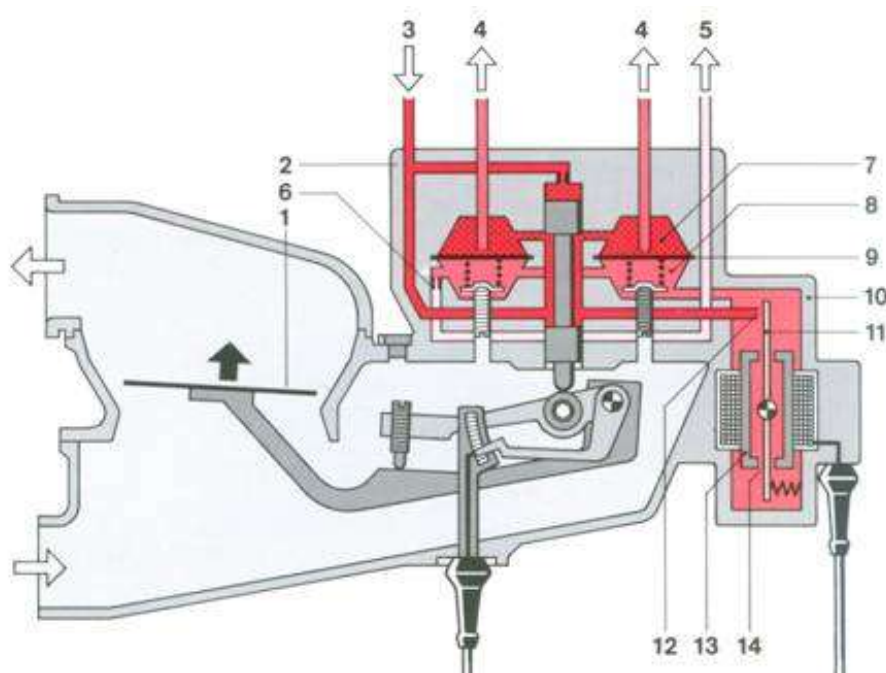


Рис. 1.26. Композиція дозатора палива, регулятора керуючого тиску і ротаметра:

1 – напірний диск; 2 – дозатор палива; 3 – системний тиск; 4 – паливо до форсунок циліндрів; 5 – зливна магістраль; 6 – постійний жиклер; 7 – верхні камери; 8 – нижні камери; 9 – діафрагма; 10 – електрогідравлічний регулятор керуючого тиску; 11 – пластина мембранного типу; 12 – жиклер; 13 – полюс магніту; 14 – повітряний зазор

Режим примусового холостого ходу, реалізується через регулятор тиску 10, шляхом підняття тиску до рівня системного. При цьому, поршневий розподільник перекриває дозуючі щілини в верхніх камерах 7 і відсікає подачу палива на форсунки.

У різних модифікаціях систем KE-Jetronic застосовуються від чотирьох до одинадцяти первинних перетворювачів енергії (датчиків). До недоліків систем безперервного впорскування слід віднести:

- великий аеродинамічний опір каналу подачі повітря;
- обмежену функціональність гідромеханічних форсунок;
- складність і вартість паливної апаратури;
- невисоку точність і інерційність дозування палива і приготування паливної суміші.

Mono-Jetronic (один струмінь) – електронна система, одноточеного впорскування у впускний колектор за допомогою центральної електромагнітної паливної форсунки (ПФ). Дозування палива в системі відбувається за рахунок керування тривалістю спрацьовування електромагнітної ПФ під постійним тиском. Система, таким чином, забезпечує імпульсне незгоджене одночасне впорскування палива. До складу системи керування різних модифікацій входять близько семи датчиків вимірювальної інформації, ЕБК і до п'яти електричних виконавчих пристроїв [13] (рис. 1.27). Паливна форсунка 4 встановлена безпосередньо перед дросельною заслінкою 12, і тому надлишковий тиск подачі палива, що розвивається паливним насосом 1, низьке (близько 1 бар). Регулятор тиску палива 16 встановлений в єдиному вузлу з ПФ 4.

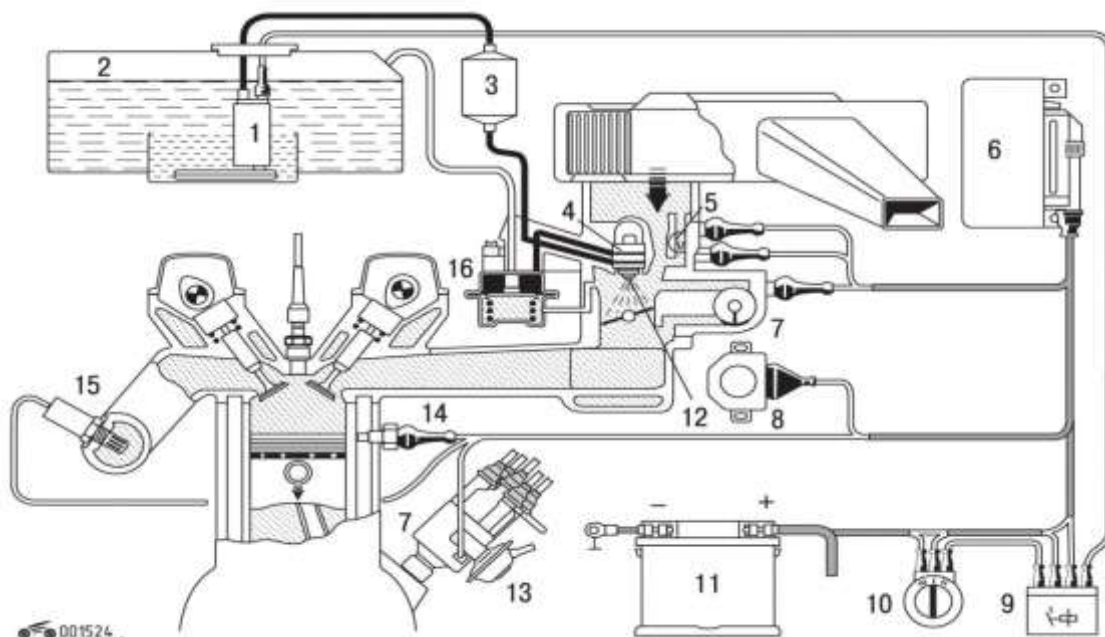


Рис. 1.27. Система впорскування Mono-Jetronic: 1 – паливний насос; 2 – паливний бак; 3 – паливний фільтр; 4 – форсунка; 5 – датчик температури повітря; 6 – ЕБК; 7 – РХХ; 8 – потенціометр ДПДЗ; 9 – реле; 10 – вимикач запалювання, 11 – АКБ; 12 – ДЗ; 13 – датчик-розподільник запалювання; 14 – датчик ДТОР; 15 – лямбда-датчик; 16 – регулятор тиску

Масова витрата повітря в системі вимірюється опосередковано (розходо-мір повітря відсутній) і його поточне значення розраховується ЕБК на підставі аналізу інформації про положення ДЗ 8, температури повітря 5 і частоти обер-тання колінчастого валу ДВЗ (датчик 13). Підтримка стехіометричного складу паливної суміші контролюється за допомогою датчика ДКК 15. Керування по-дачею повітря на холостому ходу, здійснюється через байпасний канал з регу-лятором 7. Замикаюча заслінка всередині регулятора змінює кутове положення (прохідний перетин каналу) за допомогою реверсивного електродвигуна з ШІМ-керуванням. В окремих модифікаціях систем, додаткова подача повітря реалізована за допомогою електропривода ДЗ (див. рис. 1.12, б).

Функціональні можливості ЕБК системи Mono-Jetronic дозволяють: ком-пенсувати коливання напруги бортової мережі; регулювати і підтримувати оберти холостого ходу; відпрацьовувати динамічні впливи водія на педаль ак-селератора.

L-Jetronic (Lade – точна позиція, заряд) – електронна система розподіле-ного імпульсного впорскування палива за допомогою електромагнітних ПФ, які розташовані над впускними клапанами ГРМ [13] (рис. 1.28).

Дозування палива відбувається за рахунок керування тривалістю спра-цьовування форсунок 7 кожного циліндра. Залежно від модифікації системи може здійснюватися одночасне групове чи фазоване (індивідуальне) впорску-вання палива.

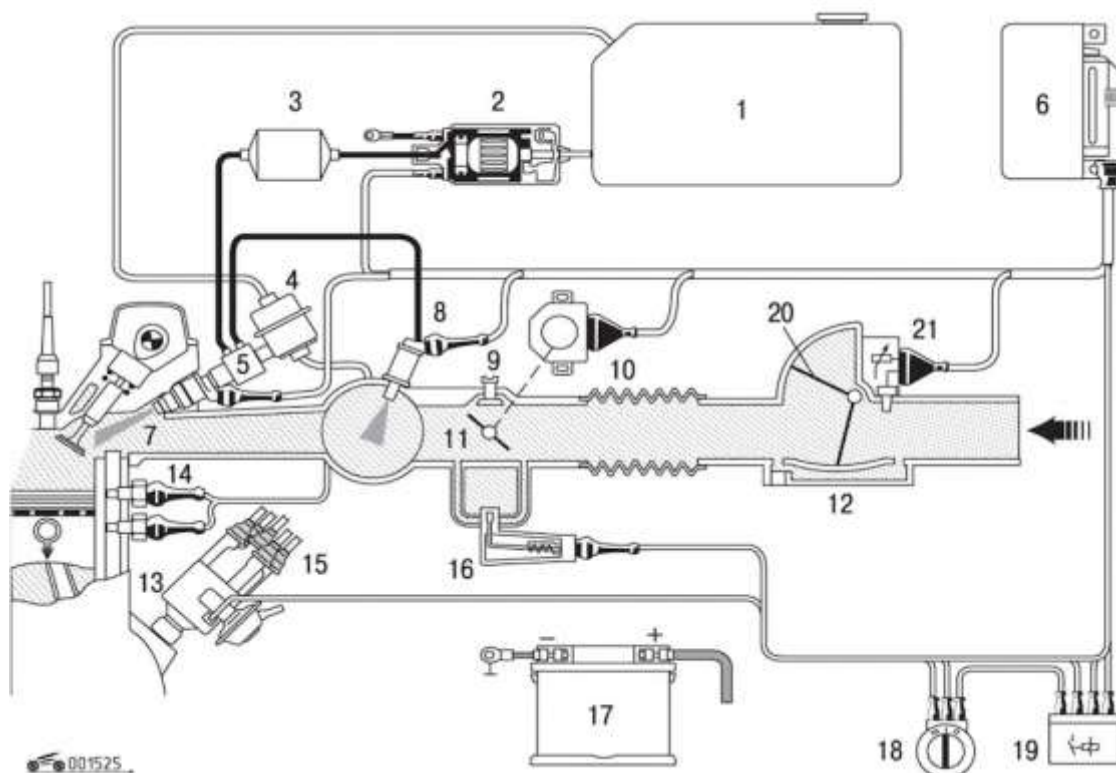


Рис. 1.28. Система впорскування палива L-Jetronic: 1 – паливний бак; 2 – паливний насос; 3 – паливний фільтр; 4 – розподільник палива; 5 – регулятор тиску; 6 – ЕБК; 7 – робоча форсунка; 8 – пускова форсунка; 9 – гвинт регулювання обертів ХХ; 10 – потенціометр ДПДЗ; 11 – ДЗ; 12 – витратомір повітря; 13 – датчик ДТОР; 14 – термочасовий датчик; 15 – розподільник запалювання; 16 – РХХ; 17 – АКБ; 18 – вимикач запалювання; 19 – реле живлення

У перших двох випадках, відбувається неузгоджене впорскування, в останньому – узгоджене. В системі використовується пускова електромеханічна форсунка 8, яка розташована під ДЗ 11 в розширювальному ресивері впускного колектору. Пускова форсунка працює в безперервному режимі під час пуску двигуна. Тривалість відкритого стану форсунки в пусковому режимі визначається часом спрацювання термореле 14. Керування подачею повітря на холостому ходу здійснюється через байпасний канал за допомогою електробіметалевого або електроклапанного регулятора 16. В окремих модифікаціях систем, розподільник палива 4 і регулятор тиску 5 утворюють рампу форсунок (див. рис. 1.16).

Залежно від режимів роботи двигуна, його стану і експлуатаційних умов може здійснюватися синхронне або асинхронне впорскування палива (рис. 1.29).

Початкове впорскування палива відбувається при надходженні в ЕБК першого імпульсу від ДПКВ на початку режиму пуску двигуна. Цей сигнал викликає тимчасове відкриття всіх форсунок. Тривалість імпульсу початкового впорскування залежить від температурного стану ДВЗ (сигнал ДТОР).

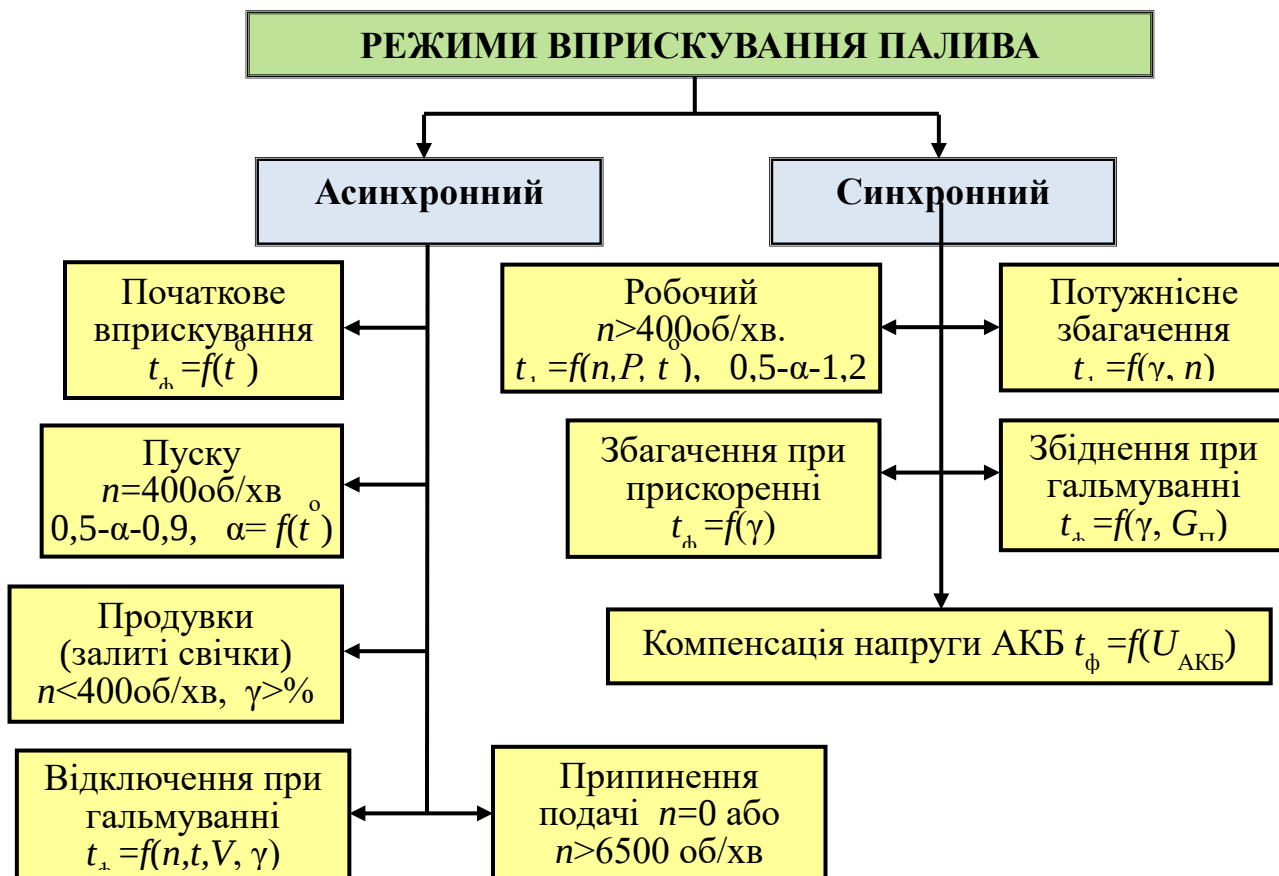


Рис. 1.29. Режими функціонування системи впорскування

В процесі *пуску двигуна*, ЕБК формує кілька додаткових асинхронних імпульсів відкриття форсунок, щоб збагатити паливну суміш. Тривалість і кількість імпульсів впорскування, в цьому режимі, також залежить від температури двигуна. Режим підтримується, доки оберти двигуна не перевищать $n > 400 \text{ хв}^{-1}$. Якщо запуск двигуна не відбувається за регламентом, системою ідентифікується режим продувки, коли свічки запалювання залиті паливом і не забезпечують спалахів в циліндрах.

Режим продувки відбувається, якщо оберти двигуна при обертанні стартером не досягнули $n < 400 \text{ хв}^{-1}$ і дросельна заслінка (ДПДЗ) відкрита більш ніж на 75 %. В цьому випадку, ЕБК не формує сигнали впорскування, подача палива в циліндри припиняється, свічки продуваються повітрям, який надходить з впускного колектору. Щоб активізувати подачу палива після продувки, потрібно забезпечити відкриття ДЗ менш ніж на 75 %.

Після пуску двигуна (коли оберти перевищать $n > 400 \text{ хв}^{-1}$), ЕБК забезпечує *робочий режим* впорскування, підтримуючи оптимальне співвідношення повітря/паливо. Сигнал впорскування в цьому режимі формується на підставі сигналів датчиків ДПКВ, ДМВП, ДТОР, ДПДЗ. У системах зі зворотним зв'язком, аналізується сигнал з датчика ДКК, на основі якого виконується коригування тривалості імпульсу.

Режим збагачення при прискореннях (збільшення тривалості імпульсів впорскування) активізується, якщо ЕБК реєструє різке відкриття ДЗ і підви-

щення витрати повітря. Збагачення суміші забезпечується тільки при перехідних режимах.

Режим потужнісного збагачення активізується тоді, коли сигнал з ДПДЗ свідчить про відкритий стан ДЗ, а сигнал з ДПКВ вказує на зниження обертів двигуна. У системах зі зворотним зв'язком, на цьому режимі сигнал ДКК ігнорується.

Режим збіднення при гальмуванні підвищує екологічні та паливо-економічні показники двигуна. Зменшення тривалості імпульсу впорскування, на цьому режимі, здійснюється на основі порівняння сигналів з ДПДЗ (коли заслінка замкнута) і ДМРВ (коли витрата повітря мала).

Режим відключення подачі палива при гальмуванні двигуном активізується, якщо включені швидкісна передача і зчеплення, а сигнали датчиків ДПКВ, ДША, ДПДЗ мають певні значення. Відключення форсунок відбувається в періодичному режимі залежно від температурного стану двигуна (сигнал ДТОР).

Режим компенсування відхилення напруги живлення від номінального значення забезпечує стабілізацію тривалості відкриття ПФ за рахунок зміни тривалості імпульсів їх спрацьовування, щодо їх оптимальних значень, які зберігаються в характеристичних картах постійної пам'яті ЕБК.

Режим припинення подачі палива активізується, якщо запалювання відключено або оберти двигуна дорівнюють $n=0$ (сигнал ДПКВ), або оберти двигуна перевищують допустимі $n > 6510 \text{ хв}^{-1}$. Такі дії унеможливають калільне запалювання в циліндрах непрацюючого двигуна і захищають двигун від перевищення допустимих обертів.

LE-Jetronic є різновидами системи L-Jetronic з де-якими відмінностями електронного керування, які не змінюють атрибутів системи впорскування відповідно до загальної класифікаційної структури. Система LE2-Jetronic відрізняється від LE-Jetronic відсутністю пускової форсунки. Її функції по збагаченню паливної суміші під час пуску двигуна передані основним ПФ. Системи LE3 (4) -Jetronic мають досконаліші ЕБК (з використанням тривимірних характеристичних карт впорскування), цифрові витратоміри повітря і деякі зміни в системах, які забезпечують режими пуску і холостого ходу двигуна.

LN-Jetronic (Nauch – подих вітру) [14] відрізняється від попередніх систем L-групи застосуванням принципово нового датчика масової витрати повітря – масметра 10 (рис. 1.30).

Такий датчик дозволяє одночасно враховувати температуру, вологість і тиск повітря для визначення дійсної маси повітряного заряду, що надходить в циліндри для приготування паливної суміші. У більшості систем LN-групи застосовується електропривод ДЗ (електронна педаль акселератора). Для регулювання додаткової подачі повітря на холостому ходу, в системі використовується поворотний клапан з приводом від реверсивного електродвигуна з ШІМ-керуванням.

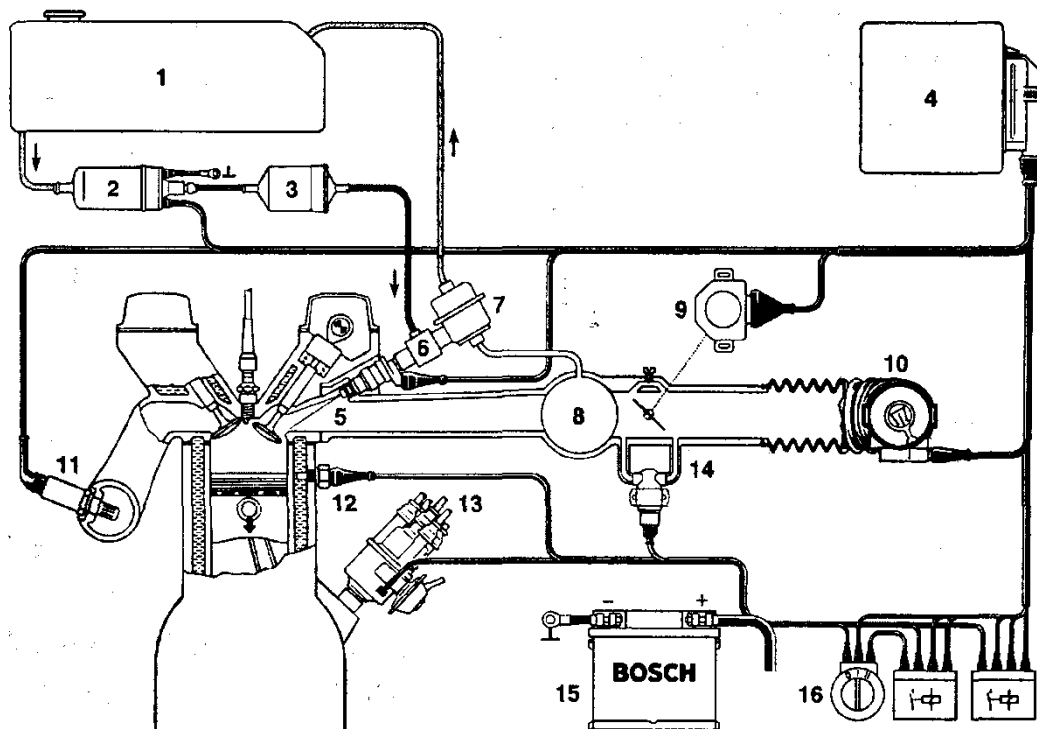


Рис. 1.30. Система **LH-Jetronic**: 1 – паливний бак; 2 – паливний електронасос; 3 – паливний фільтр; 4 – ЕБК; 5 – форсунка; 6 – паливна рампа; 7 – регулятор тиску палива; 8 – впускний трубопровід; 9 – датчик ДПДЗ; 10 – датчик ДМВП; 11 – датчик ДКК (λ -зонд); 12 – датчик ДТОР; 13 – датчик-розподільник системи запалювання; 14 – РХХ; 15 – АКБ; 16 – вимикач запалювання

Система *LD-Jetronic* (Direct – безпосередній) відрізняється від попередніх систем L-групи відсутністю будь-якого вимірювача кількості повітря. Таке рішення дозволяє значно знизити вартість системи керування і аеродинамічні втрати у впускному повітряному тракті. Інформацію про витрату повітря, в таких системах, одержують на основі обробки сигналів з датчиків температури повітря, частоти обертання і навантаження двигуна (положення ДЗ).

У системах *D-Jetronic* здійснюється вприскування палива за допомогою форсунок, безпосередньо в циліндри ДВЗ. Система може бути реалізована на механічному або електронному рівні. Завдяки особливості безпосереднього вприскування, такі системи забезпечують тільки розподілене імпульсне узгоджене фазне вприскування. Ці ознаки визначають кілька переваг в порівнянні з системами вприскування у впускний колектор або на впускні клапани. Ознакою систем такого типу є підвищений тиск вприскування палива 30...38 кгс/см², яке забезпечується за допомогою насос-форсунок (механічного або електромеханічного типу) або магістрального паливного насоса високого тиску (ПНВТ) з механічним приводом (як в дизельних двигунах). У другому випадку, застосовуються електромагнітні форсунки високого тиску (рис. 1.31).

Керування подачею палива в контурі високого тиску здійснюється за допомогою редуційного електроклапана вбудованого в ПНВТ. У рампі (паливному акумуляторі) 3 на експлуатаційних режимах двигуна підтримується пос-

тійний тиск (зворотний зв'язок по датчику тиску 2). Надлишки палива надходять в зливний канал через механічний регулятор тиску 4.

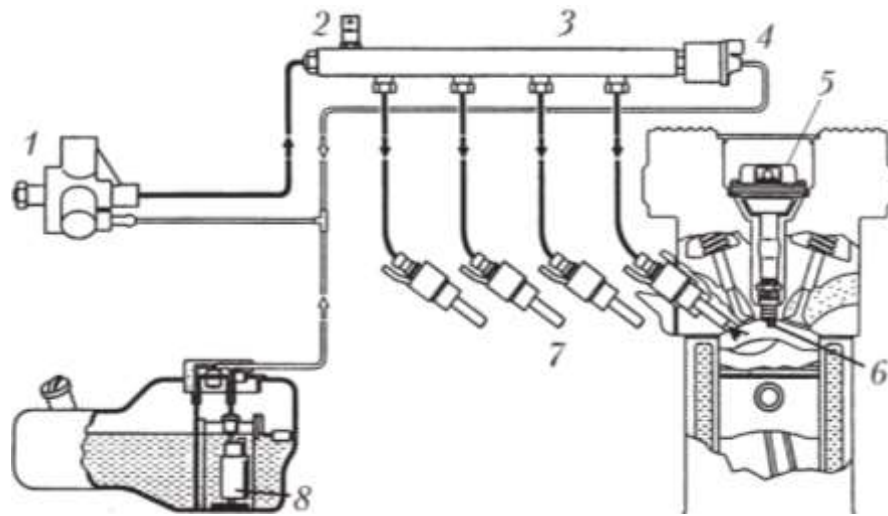


Рис. 1.31. Устрій системи безпосереднього впорскування D-Jetronic:
1 – ПНВТ; 2 – датчик тиску палива; 3 – рампа форсунок; 4 – регулятор тиску;
5 – котушка запалювання; 6 – свічка запалювання; 7 – паливні форсунки;
8 – паливний насос низького тиску

Для керування подачею повітря в циліндри застосовуються сучасні засоби автоматики [5]: плівкові масметри; дросельні вузли з електроприводом і повітряні заслінки; РХХ з шаговими двигунами.

Таким чином, керування процесом впорскування (форсунками) проводиться за допомогою ЕБК на основі інформації з датчиків: ДПКВ, ДПРВ, ДТОР і палива, ДД, ДПДЗ, ДКК, температури і тиску повітря, ДША.

1.5. Системи газорозподілу промислових зразків

З позицій функціональності і способу реалізації керуючих впливів, мехатронні системи ГРМ промислових зразків можна представити групами.

1. З керуванням повороту РВ (натяжители ланцюга, поворотні гідромуфти і електромотори);

2. З керуванням підйому клапанів (важільні коректори з електромоторним або гідроелектричним приводом, гідроелектричні з складовим штовхачем);

3. З керуванням кулачками РВ (з повідковим приводом шліцьових муфт, із замикаючим плунжером складеного коромисла);

4. Суміщені системи комплексного керування клапанами;

5. Автономного комплексного керування клапанами (гідроелектричні, електрогідравлічні, електромагнітні, електромеханічні, комбіновані);

6. Відключення циліндрів ДВЗ (гідроелектричні, електрогідравлічні).

1. Системи з тангенціальною корекцією фаз газорозподілу.

1.1. Система зі зміною натягу ланцюга, побудована за принципом гідравлічного кільця, дозволяє змінювати фази газорозподілу тільки для впускних клапанів. Розподільчий вал випускних клапанів приводиться в обертання від

КВ двигуна через шестерню або зірочку пасової або ланцюгової передачі, а РВ впускних клапанів через ланцюгову передачу від зірочки, встановленої на РВ приводу випускних клапанів [15]. Масло у систему надходить через отвір в голівці блоку. Зміна потоків масла, під тиском від механічного насоса, здійснюється керуючим клапаном 1 із золотником 2 за сигналами ЕБК (рис. 1.32, а).

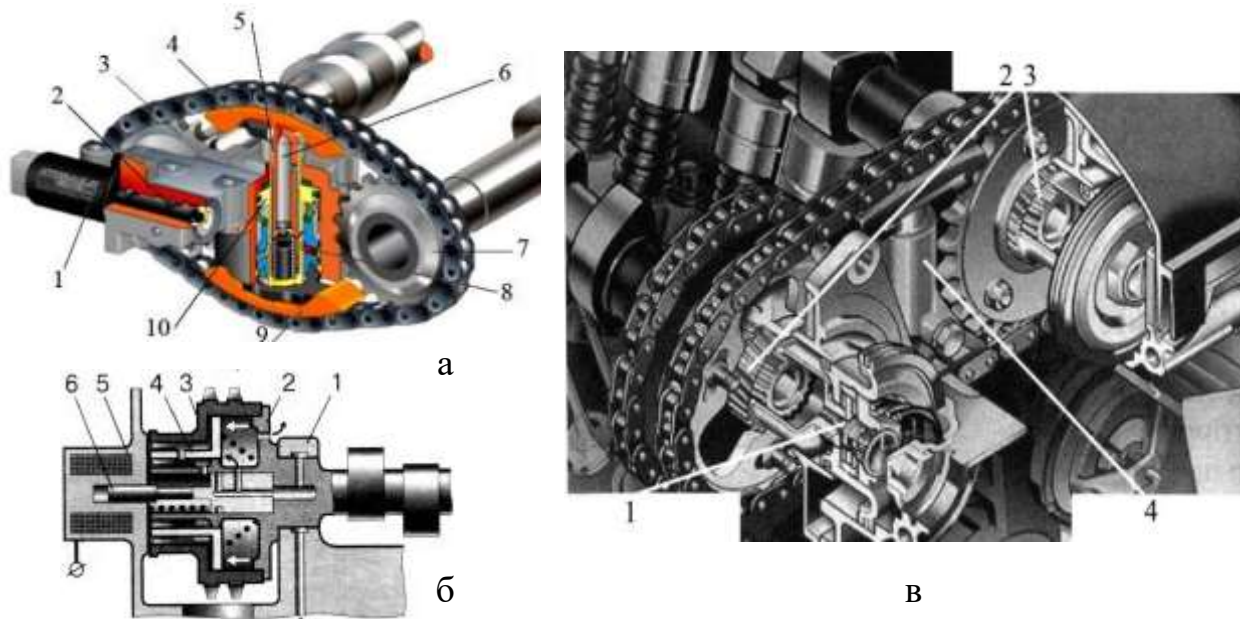


Рис. 1.32. Пристрої для зміни фаз газорозподілу: а – з натягом ланцюга: 1 – керуючий клапан; 2 – золотник; 3 – зірочка приводу впускних клапанів; 4, 9 – натяжители ланцюга; 5 – штовхач натяжителя; 6 – порожнина для масла; 7 – зірочка приводу випускних клапанів; 8 – фіксатор стартовий; 10 – керуючий поршень; б – з поршневым приводом: 1 – головка блоку; 2 – розподільний вал; 3 – зірочка приводу РВ; 4 – поршень; 5 – обмотка електромагніту; 6 – якір-клапан; в – поєднана система: 1 – керуючий поршень; 2 – косозуба шестерня; 3 – прямозуба шестерня; 4 – натяжитель ланцюга

Для зміни фаз газорозподілу впускних клапанів служить гідравлічний циліндр з поршнем 10. При подачі масла в циліндр по сигналу ЕБК поршень, висуваючись, впливає на натяжителя 4. Одна сторона ланцюга, при цьому, продовжується, а протилежна коротшає, приводячи до повороту барабана приводу впускних клапанів. Керування подачею масла здійснюється за допомогою електроклапана 1. Система дискретно позиціонує кутове положення РВ і забезпечує ступеневе керування фазою впуску.

Для забезпечення безступеневої зміни фаз і керування ГРМ на холостому ходу застосовується окремий масляний електронасос і забезпечується ШІМ-керування керуючим клапаном. Оптимальний кут зміни фаз газорозподілу обирається залежно від навантаження і частоти обертання КВ у полі характеристичних карт. Частота обертання і кутове положення КВ і РВ визначається енкриментними датчиками.

1.2. В системі CVTC (Continuous Valve Timing Control) РВ приводу впускних клапанів може повертатися і за допомогою поршневого гідроприводу з механізмом перетворення лінійного переміщення поршня в кутовий поворот РВ (муфти з косозубим зачепленням маточини зірочки ланцюга) на $12...15^\circ$ [15]

(рис. 1.31, б). Подача тиску під поршень 4 реалізується за рахунок переміщення якоря-клапана 6 під керуванням обмотки електромагніту 5. У початковий стан, після перемикавання клапана на слив, поршень повертається під дією пружини.

1.3. В конструкції деяких двигунів BMW застосовані принципи роботи *обох* вищеописаних способів зміни фаз газорозподілу [15] (рис. 1.32, в). Косо-зуба шестерня 2 може переміщатися в поздовжньому напрямку під впливом тиску масла на керуючий поршень, забезпечуючи поворот барабана приводу розподільного валу. Застосування такої конструкції дозволяє змінювати фази газорозподілу не тільки для впускних, а й для випускних клапанів (до 46°).

1.4. Система *VANOS* (Variable Nockenwellensteuerung) розробки BMW дозволяє плавно змінювати фази газорозподілу шляхом повороту РВ впускних клапанів відносно РВ випускних в діапазоні $40...60^\circ$ (по куту повороту КВ) за допомогою гідравлічних муфт. В результаті змінюються момент (кут) відкриття і тривалість (сектор) перекриття впускних клапанів [16, 17].

1.5. Аналогічно реалізується і *система VVT-i* (Variable Valve Timing intelligent) з двома приводами для РВ впускних і випускних клапанів. Механізм приводу тангенціальної корекції складається з корпусу з електрогідравлічними клапанами-розподільниками 7, 8 і двох гідравлічних муфт 2 і 5 (рис. 1.33, а).

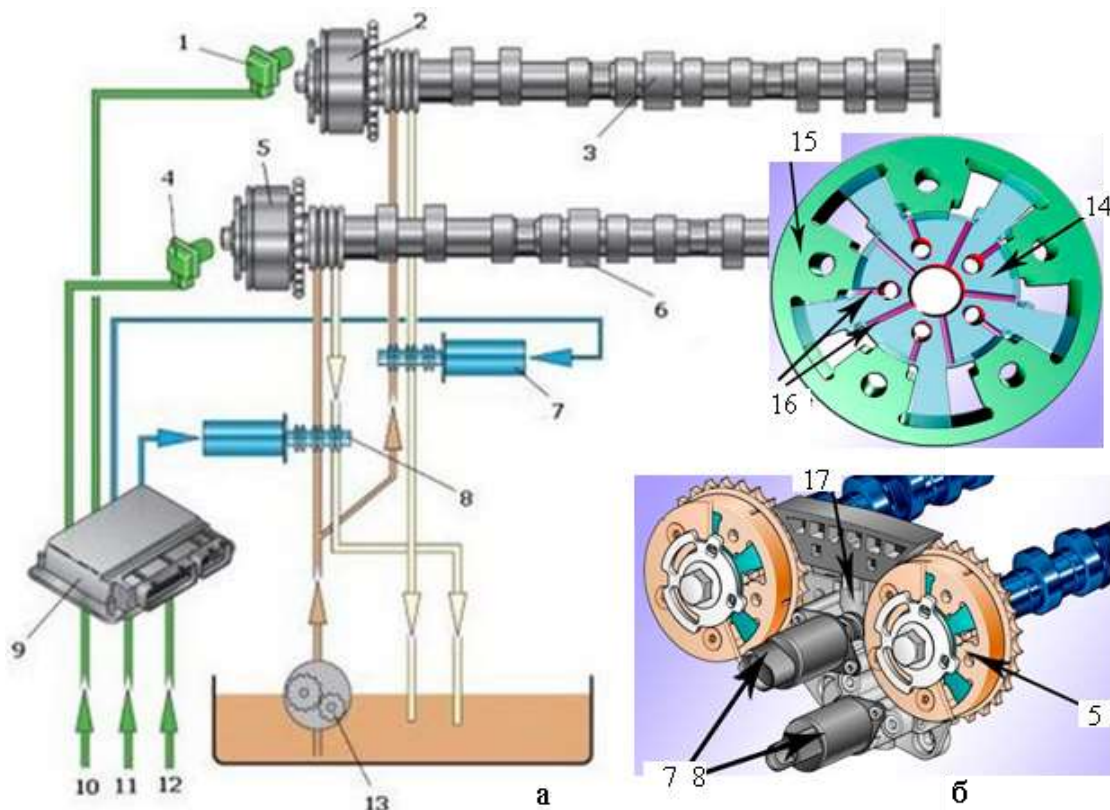


Рис. 1.33. Система зміни фаз газорозподілу типу VVT-i:

- 1, 4 – датчики Холла впускного і випускного РВ; 2, 5 – гідравлічні муфти впускного і випускного РВ; 3, 6 – впускний і випускний РВ; 7, 8 – електроклапана-розподільники впускного і випускного РВ; 9 – ЕБК двигуна; 10, 11, 12 – сигнали від датчиків ДТОР, витратоміра повітря і частоти обертання КВ двигуна; 13 – масляний насос;
б – устрій гідравлічної муфти: 14 – роторна частина; 15 – статорна частина; 16 – масляні канали; 17 – корпус муфти

Гідравлічна муфта складається з роторної 14 і статорної 15 частин. Ротор зафіксований на РВ, а статор на шківі (зірочці) приводу ГРМ. У роторі розташовані масляні канали 16, по яких масло заповнює камери, утворені між ротором і статором. Заповнення тій чи іншій частини камери призводить до повороту ротора (РВ) відносно статора, в ту чи іншу сторону на необхідний кут. Подача тиску в гідромufту здійснюється по масляним каналам в корпусі 17 і кільцевим проточкам ротору 14 за допомогою перемикаючих золотникових клапанів 7, 8. Для контролю кутового положення РВ, на корпусі механізму приводу встановлені інкрементні датчики Холла, спрацювання яких, активізується вимірювальним диском, закріпленим на роторній частини приводу ГРМ. Керування клапанами проводиться на підставі інформації, отриманої з датчиків двигуна: частоти обертання; витрати і температури повітря, ДТОР; ДПРВ.

1.6. Аналогічний підхід, але з використанням приводу з кроковим електродвигуном і механічного редуктора замість гідравліки, застосований в системі *VVT-IE* автомобілів компанії Toyota.

2. Системи зі зміною висоти підйому клапана.

2.1. Система *Valvetronic* (BMW) здійснює керування ходом впускних клапанів і дозволяє відмовитися від використання дросельної заслінки [18]. Для зміни ходу клапана використовується складна кінематична схема електропривода з проміжним важелем (рис. 1.34, а).

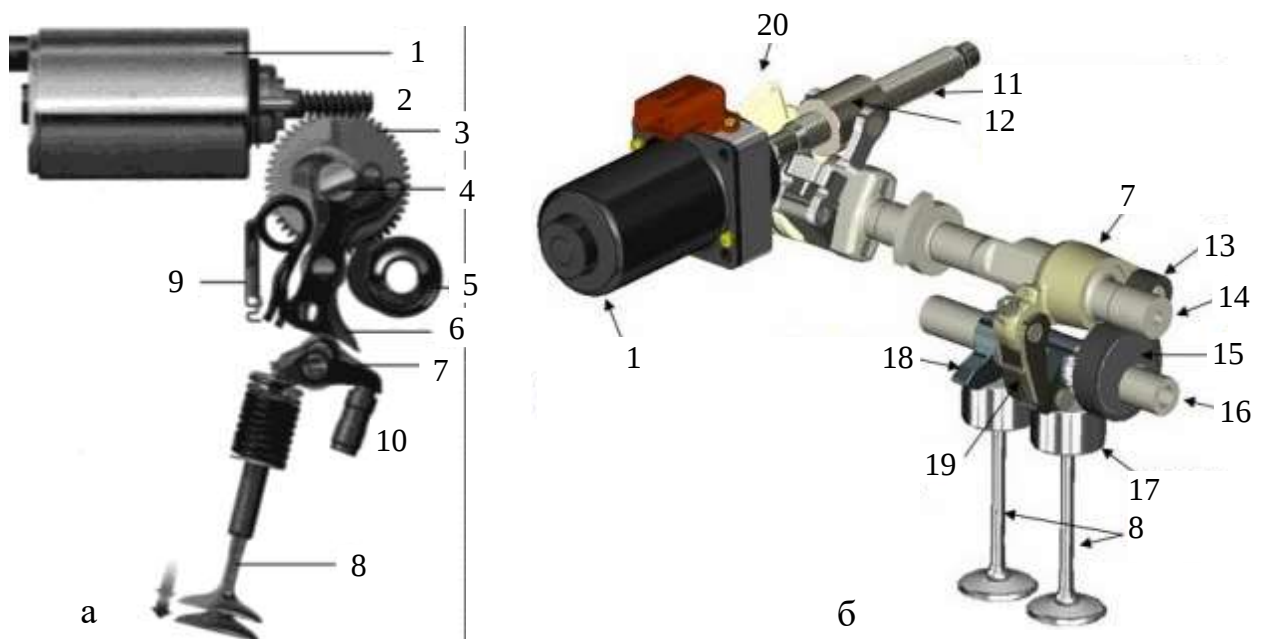


Рис. 1.34. Конструкції електроприводів ГРМ з ексцентриковим механізмом:
а – Valvetronic; б – VVEL

У приводі клапанів, крім кулачків РВ 5, додатково задіяні ексцентриковий вал 4 і проміжний важіль 6 з поворотною пружиною 9. За сигналами з датчиків, встановлених на двигуні, ЕБК формує сигнал керування сервоприводом 1, який через червячну передачу 2, 3 обертає ексцентриковий

вал 4. Останній, в свою чергу, змінює положення проміжного важеля 6, який через коромисло 7 з опорою на гідрокомпенсатор 10, змінює висоту підйому впускного клапана 8, регулюючи фази газорозподілу. Таким чином, система точно підбирає необхідну фазу газорозподілу на будь-яких обертах.

2.2. Система Valvetronic (підйом кулачка) *спільно* з системою Vanos (поворот РВ), утворюють систему комплексного керування фазами ГРМ під назвою *Valvetronic*.

2.3. В системі VVL (Variable Valve Lift) Nissan також використовуються проміжні ланки між розподілвалом і клапанами з гідроелектричним поршневым приводом, який коригує передавальне відношення системи важелів.

2.4. В системі VVEL (Variable Valve Event Lift) розробки Nissan використовується електромоторний привід з редуктором 11, 12 типу гвинт-кулькова гайка, який через важіль повертає вал керування 14 ексцентриковою опорою рухомого зчленування коромисла 7 (рис. 1.33, б). Поворот валу 14 викликає зміну точки опори коромисла. Кінці коромисла 7 рухомо зчленовані з проміжними ланками 13 і 19. На РВ 16 закріплений ексцентриковий кулачок 15, який приводить в дію коромисло 7 за допомогою ланки 13. При цьому, протилежне плече коромисла через виліт 19 забезпечує зворотно-поступальний рух кулачків 18 і штовхачів 17. Кулачки 18 зчленовані з ланкою 19, і з РВ за допомогою підшипників ковзання. Таким чином, поворот валу 14 змінює коефіцієнт передачі коромисла 7, забезпечуючи варіацію підйому між повідними ексцентриком 15 і виконавчим кулачком 18.

2.5. Система VVE & L (Variable Valve Event & Lift) забезпечує значне поліпшення динамічних і екологічних характеристик. Нова система *поєднує* в собі технології VVEL і безперервного регулювання фаз CVTC [19].

2.6. Система Variocam фірми Порше впровадила для своїх двигунів з турбо-наддувом *чашковий штовхач* із змінною висотою підйому клапана [18] (рис. 1.35).

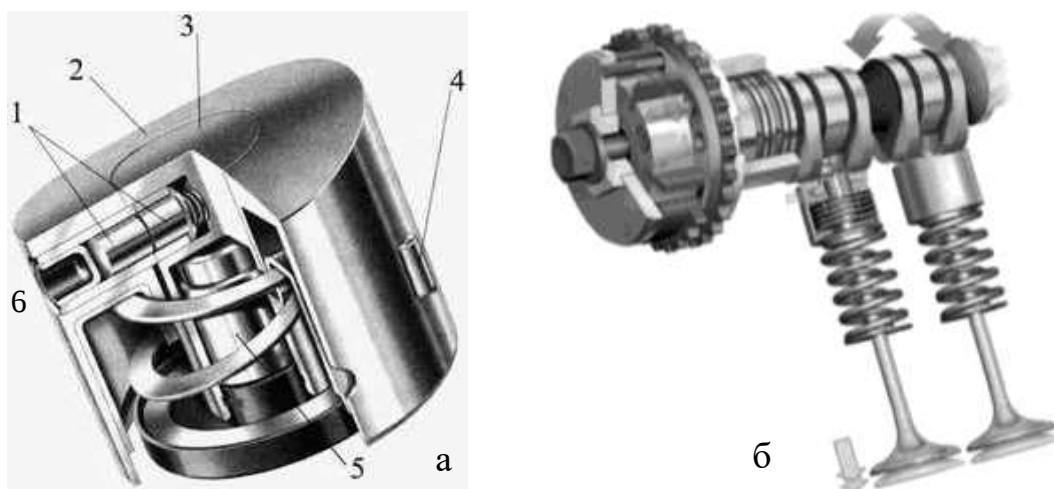


Рис. 1.35. Система ГРМ з чашковими штовхачами підйому клапанів:
а – устрій складеного штовхача Variocam; б – компоновка суміщеної системи Variocam Plus

Чашковий штовхач складається з двох частин – внутрішнього 3 і зовнішнього 2 штовхачів, які з'єднуються між собою замикаючим плунжером 1 (рис. 1.35, а). Плунжер переміщається тиском масла в камері 6, яке подається через канали головки циліндрів. Переміщення штовхача кулачками РВ демпфіруються вбудованим гідро-компенсатором 5 і поворотною пружиною. На зовнішній частині штовхача передбачений підшипник 4 для фіксації штовхача від провртання в гільзі.

На внутрішній штовхач впливає малий кулачок РВ, який забезпечує хід клапана 3 мм. На зовнішню чашку штовхача діють два великих кулачка РВ, які забезпечують хід клапана 10 мм. Внутрішній штовхач працює в тому випадку, коли замикаючий плунжер 1 не з'єднує обидва штовхача. Якщо, за сигналом ЕБК масло під тиском подається через електроклапан до замикаючого плунжеру 1, обидва штовхача з'єднуються в одне ціле, і починає працювати зовнішній штовхач, забезпечуючи більший хід клапана (рис. 1.35, б).

3. Системи із застосуванням кулачків різного профілю.

3.1. Система зміни фаз з різною формою кулачків VTEC (Variable Timing Electronic Control) [16, 17] влаштована таким чином. На кожному циліндрі використовуються два впускні клапани, три коромисла і три кулачка на РВ – два крайніх 1 одного розміру, а третій по середині 2 більший по висоті (рис. 1.36).

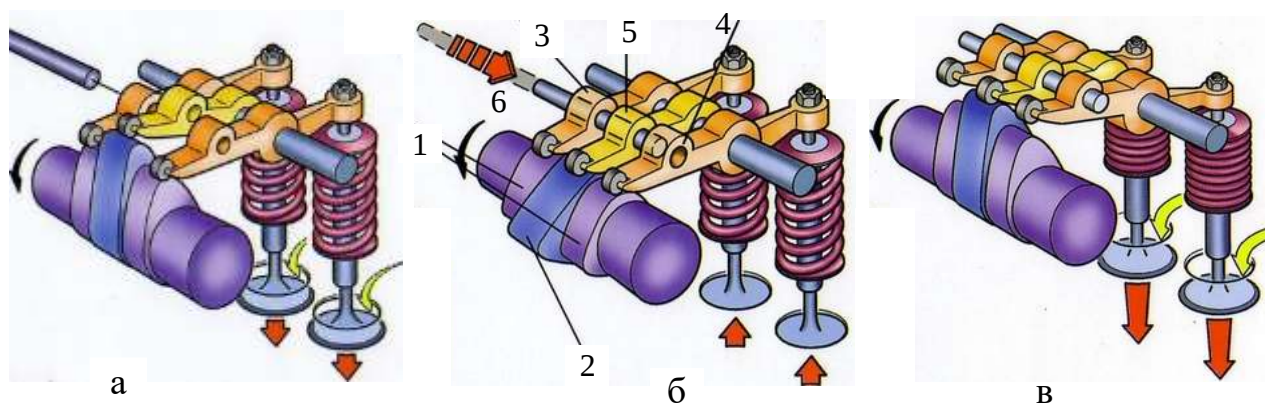


Рис. 1.36. Керуючі впливи коромисел ГРМ з різною формою кулачків:

а – незалежна робота; б – керування об'єднанням; в – монолітна робота

На низьких обертах під дією малих кулачків, зусилля на впускні клапани передаються через крайні коромисла 3, 4, забезпечуючи їх відкриття. Середнє коромисло 5, в цьому режимі не задіюється, що в підсумку забезпечує короткі фази газорозподілу. При переході двигуна в режим високих обертів, автоматично спрацьовує гідравлічний блокуючий механізм 6, який з'єднує всі три коромисла між собою. При цьому, на коромисла впливає тільки середній, кулачок більшого розміру 2, що призводить до подовження фаз газорозподілу. Тиск масла в камеру блокуючого плунжера гідроелектричної системи подається через осьовий канал валу коромисел і кулачкову штангу коромисла.

В іншій модифікації системи VTEC, на відміну від попередньої, використовуються три кулачка різного розміру, що забезпечують три режими корекції в швидкісному діапазоні ДВЗ.

3.2. На сучасних двигунах, Honda використовує результат двох систем VTEC і VTC (VANOS), така система отримала назву I-VTEC.

3.3. В системі AVS (Audi Valvelift System) впускні клапани відкриваються кулачками різного профілю, шляхом осьового зміщення кулачків РВ [20]. Шток складається з валу зі шліцьовими ділянками 1 напроти коромисел клапанів і кулачкових модулів 2, які переміщуються на шліцах (рис. 1.37).

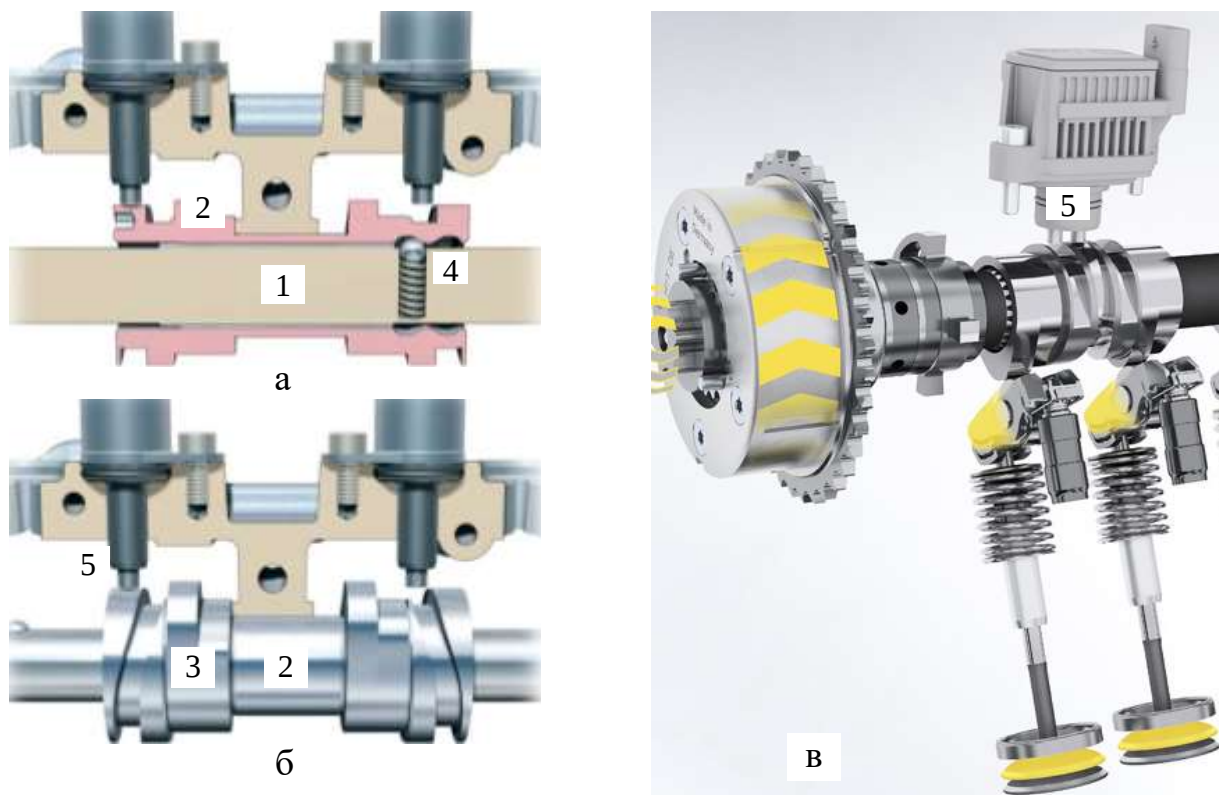


Рис. 1.37. Устрій системи AVS з осьовим зміщенням кулачків:

а – композиція механізму осьового зсуву кулачків; б – реалізація керуючих впливів на кулачкову муфту; в – загальна компоновка системи

Кулачковий модуль керує двома впускними клапанами кожного з циліндрів і має по два профілі кулачків і спіральні пази для керування 3. Для фіксації модуля в одному з двох положень у вал посаджені кулькові фіксатори 4. Керуючі пази з асиметрично-спіральною навивкою розташовані по обидва боки кулачкових модулів. Кожен модуль оснащений штифтовим керуванням 5 з електромагнітним приводом. Якщо, необхідно пересунути модуль вправо для роботи лівого кулачка, в лівий паз модуля вводиться штифт, і при обертанні РВ модуль 2 зміщується в потрібну сторону. Якщо, потрібно ввести в роботу інший кулачок, штифт входить в зачеплення з іншого боку модуля, і останній переміщається вліво. Після зсуву модулів штифт повертається в нейтральне положення. Один профіль кулачків призначений для роботи двигуна в режимі

значних навантажень. Друга пара кулачків відкриває клапани в режимі часткових навантажень.

За допомогою AVS можна також підвищити економічність двигуна, відключивши кілька циліндрів. При цьому, штифти приводів 5 циліндрів, що відключаються, втягуються і припиняють контакт з поверхнями кулачкового модуля.

3.4. Для керування тривалістю відкриття клапанів ГРМ, в системі CVVD (Continuously Variable Valve Duration) Hyundai використовується ексцентриковий механізм, який за допомогою електроприводу на ходу плавно повертає кулачок, коригуючи (прискорюючи або сповільнюючи) час проходження сектора його контакту із штовхачем клапана [21].

4. Суміщені системи комплексного керування клапанами (дивись вище п.п.: 1.3, 2.2, 2.5, 3.2).

5. Системи з автономним керуванням клапанами.

5.1. Найбільш вдалим з позицій функціональності і енергоспоживання, серед електромагнітних приводів клапанів ГРМ є конструкція EVA (Electromagnetic Valve Actuator), яка являє собою тяговий електромагніт двосторонньої дії. У початковому (знеструмленому) стані, якір приводу 2 збалансований в середньому положенні протидіючими пружинами 4 і забезпечує половинне відкриття клапана ГРМ (рис. 1.38, а).

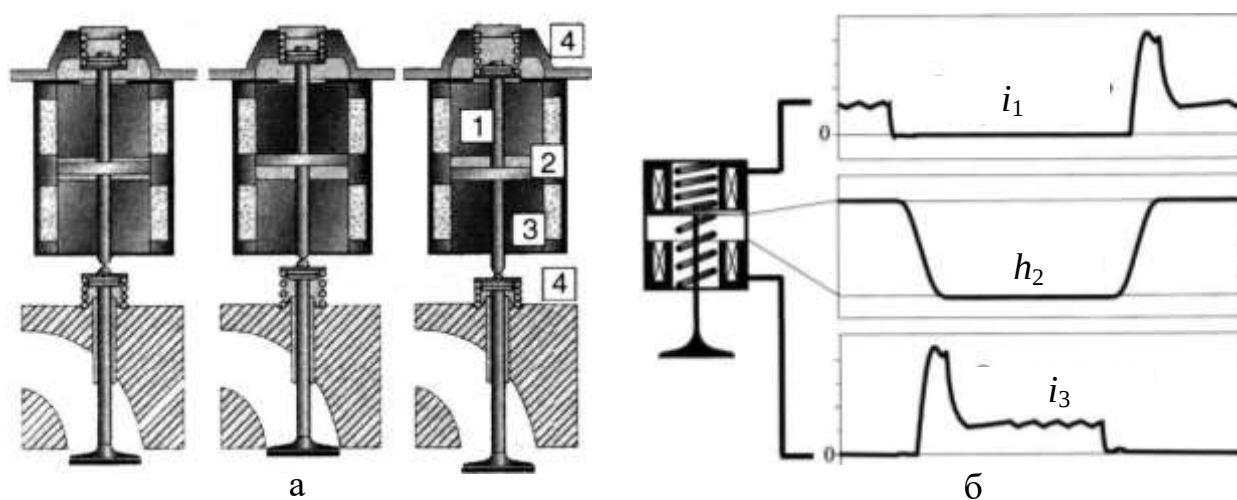


Рис. 1.38. Електромагнітний привід клапана EVA:
а – функціонування; б – формування керуючого сигналу

Подача живлення на обмотки приводу 1 і 3 надає диференціальний вплив на якір, тим самим, приводячи клапан ГРМ в повністю відкритий чи повністю закритий стан. При цьому, поточний стан якоря (клапана) контролюється спеціальним датчиком. Ця синхронізуюча інформація використовується для формування ШІМ-модульованих імпульсів струму в обмотках приводу i_1 , i_3 з метою збільшення швидкості спрацьовування і ступеню відкриття клапана h_2 , а так само для зниження швидкості посадки клапана в сидло (рис. 1.38, б).

Слід зауважити, що значну частину роботи під час перемикання клапана, виконують повертаючі пружини, а енергетична добавка від обмоток зі струмом використовується для коригування коливального процесу якірної частини приводу. Зауважимо, що для підвищення динамічних характеристик приводу, можна використовувати поляризоване живлення обмоток, що забезпечує відштовхуючу дію на якір і розмагнічуючу дію на магнітну систему пристрою.

Таким чином, система керування приводом EVA дозволяє задавати і контролювати на рівні електричних сигналів всі параметри керуючого впливу клапанів ГРМ – момент відкриття (по сигналу датчика положення КВ); тривалість відкритого стану і підйом клапана (дані характеристичних карт). Сигнал з вбудованого датчика положення клапана дозволяє реалізувати алгоритми м'якої посадки клапана в сідло і адаптивного керування. Поряд з перерахованими достоїнствами, застосування системи EVA забезпечує:

- зниження токсичності ВГ і витрат на їх очищення;
- поліпшення паливної економічності і потужності двигуна;
- зменшення втрат на тертя і надійність;
- можливість застосування альтернативних видів палива.

5.2. Застосування гідроелектричних приводів клапанів дозволяє відмовитися не тільки від РВ і ДЗ, а й від клапанних пружин. Застосування такого ГРМ за класичною схемою, дозволяє керувати фазою газорозподілу і тривалістю відкриття клапана ГРМ автономно, по кожному циліндру, за допомогою двох ЕК, встановлених на впуску і випуску з гідравлічного циліндра. Для корекції підйому клапана ГРМ, в цьому випадку, використовується регулятор тиску, встановлений в каналі, що шунтує вихід масла з циліндра. Керуючий тиск на регулятор подається через окремий редукційний електроклапан [22].

5.3. У гідроелектричній системі *MultiAir*, випускні клапани ГРМ активізуються РВ 1 і штовхачами 2 за класичною схемою (рис. 1.39, а).

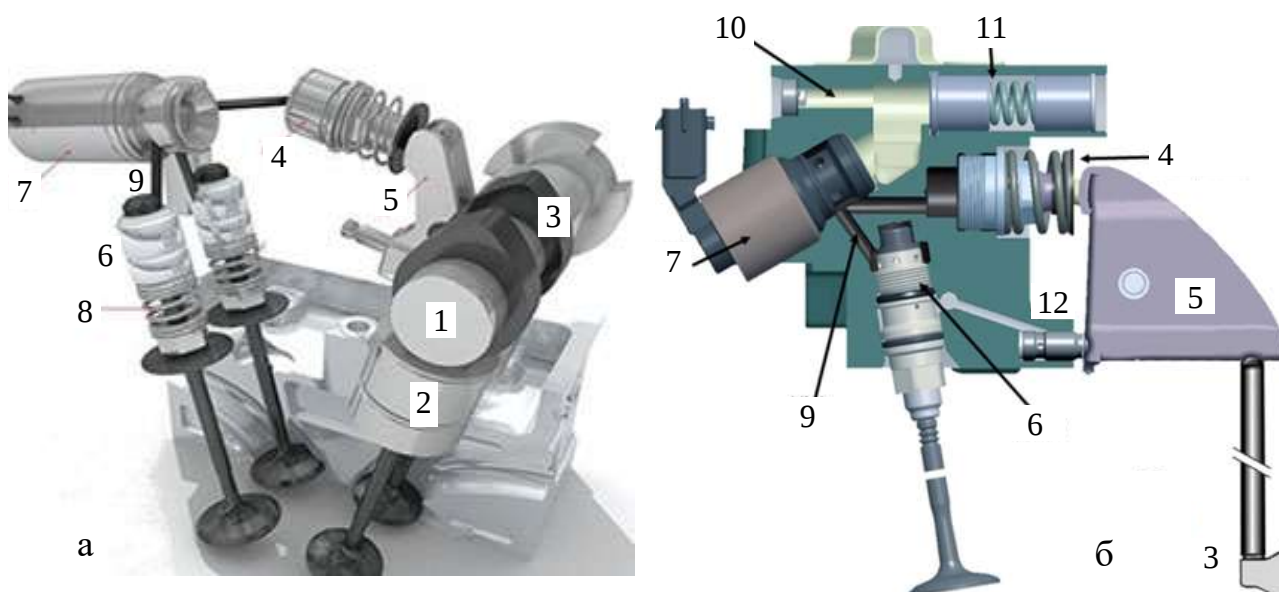


Рис. 1.39. Устрій гідроелектричних приводів клапанів:
а – система MultiAir; б – система UniAir

Новим є керування впускними клапанами [23]. На впускному РВ є кулачки 3, що призводять поршень-насос 4 в дію за допомогою важеля 5. Моторне масло під тиском подається на гідравлічний циліндр-штовхач 6 через електромагнітний клапан 7, який відповідає за відкриття впускного клапана. Повернення впускного клапана і штовхача 6 відбувається під дією пружини 8. При цьому, масло з циліндра 6 повертається в порожнину насоса 4 через канал 9 і відкритий електроклапан 7. Таким чином, режим керування електроклапаном 6, визначає ширину фаз і момент відкриття впускних клапанів ГРМ, які можна плавно регулювати аж до повного відключення. Максимальна ширина фази визначається профілем впускного кулачка РВ.

5.4. *Гідроелектрична система UniAir* також забезпечує автономне керування впускними клапанами без РВ, але на відміну від системи MultiAir дозволяє додатково змінювати підйом клапана ГРМ, завдяки ШІМ-регулюванню струму в обмотці ЕК 7. Гідросистема приводу відрізняється від конфігурації MultiAir наявністю камер проміжного тиску 10 і масляного акумулятора 11 (див. рис. 1.38, б). При закритому ЕК, система працює як «жорсткий» гідравметалевий штовхач, а при відкритому, масло перетікає в додаткові канали і клапан ГРМ не функціонує. У ШІМ-режимі, штовхач клапана ГРМ працює через гідрокомпенсатор з керованою жорсткістю. Після кожного відкриття клапана ГРМ акумулятор забезпечує повернення масла в камеру високого тиску за допомогою золотникового клапана 12. Таким чином, підйом, частота і час відкриття клапанів ГРМ задається режимом включення електроклапана. При цьому, реалізується керування фазою і продуктивністю клапанного механізму [24].

Застосування систем MultiAir і UniAir дозволяє скоротити компресорні втрати ДВЗ, виключивши функціональність ДЗ на часткових навантаженнях. Крім того, знижуються температура двигуна і викиди CO₂. Для контролю стану масла і підвищення стабільності роботи в гідросистемах приводу використовуються датчики температури і в'язкості масла.

5.5. *Технологія Flex Work* реалізує автономне керування клапанами ГРМ без розподільних валів. Відкриття клапанів здійснюється за допомогою соленоїдів, а закриття, – під дією пружини [25]. Керування параметрами газорозподілу і компоновка системи аналогічні системі розподіленого безпосереднього вприскування палива.

Завдяки таким унікальним характеристикам система здатна оптимізувати роботу двигуна на всіх режимах за всіма параметрами керуючих впливів ГРМ і навіть адаптуватися до альтернативних видів палива.

5.6. *Система газорозподілу за технологією Freevalve* не має ні ремінного приводу, ні розподільних валів, ні кулачків, ні штовхачів клапанів [26...28]. Актуатор системи має комбіновану структуру. Відчиняє клапани пневматика, а допомагає закрити – гідравліка. І пневматична, і гідравлічна системи постійно знаходяться під тиском і передають клапану ГРМ максимум енергії. Завдання електричної частини приводу (електроклапанів) полягає в керуванні силовими

магістралями. Охолодження і змащування навантажених елементів системи обслуговуються відповідними системами ДВЗ.

Кожен привід клапана складається з: поршня приводу (Actuator Piston), циліндра, двох соленоїдів, двох золотникових клапанів, двох портових клапанів і гідравлічної засувки. Соленоїд синхронізації 1 (Timing Solenoid) керує золотниковим клапаном і гідравлічної засувкою. Соленоїд підйому 2 (Lift Solenoid) керує іншим золотниковим клапаном. У свою чергу, золотникові клапани контролюють повітря, що надходить в циліндр приводу. На схемах рис. 1.40, об'єми повітряних магістралей під надлишковим тиском позначені червоним, а під атмосферним – синім.

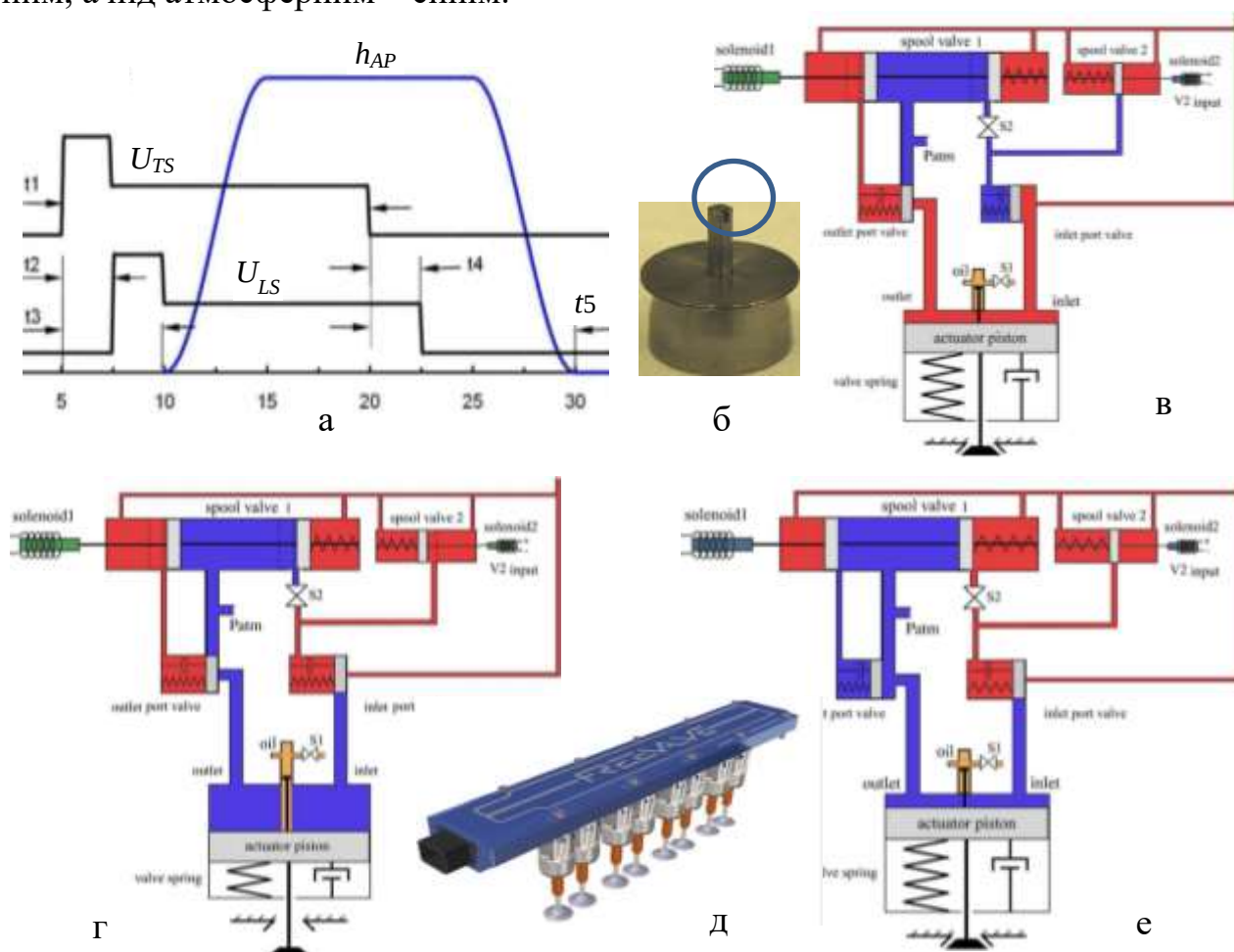


Рис. 1.40. Устрій і функціонування приводу Free Valve:

а – часові діаграми процесу керування; б – конструкція поршня; в – процес зарядки повітря; г – процес розширення повітря і утримання клапана; д – загальний вид рампи клапанів ГРМ; е – процес випуску повітря

Стиснене повітря діє на поршень, який тисне на клапан ГРМ, викликаючи його відкриття. Процес відкриття і закриття клапана можна розділити на три періоди: зарядка повітря, розширення і утримання, випуск повітря. Сигнали керування соленоїдами U_{TS} , U_{LS} і відповідний їм хід поршня h_{PA} (клапана ГРМ) показані на рис. 1.40, а.

Коли на соленоїд синхронізації TS подається напруга, він відкриває золотниковий клапан (Spool Valve) 1, який потім направляє стиснене повітря в циліндр приводу. Тиск, що підвищується, впливає на поршень приводу AP і клапан ГРМ. Після наростання струму в соленоїді синхронізації TS (4 мс), привід відкриває клапан ГРМ. Зворотний клапан масла S1 активується одночасно з соленоїдом TS, перешкоджаючи надходженню масла назад в резервуар. Оскільки тиск масла дорівнює тиску повітря, масло надходить в циліндр поршневого компенсатора (рис. 1.40, в).

Коли на соленоїд підйому LS подається напруга, він відкриває золотниковий клапан SV2, який перешкоджає надходженню повітря (рис. 1.40, г). Однак, оскільки соленоїд синхронізації TS ще не знеструмлений, гідравлічна засувка S1 все ще дозволяє потоку проникати в привід, і повітря може розширюватися далі, поки не врівноважить силу пружини та інші фактори опору. Гідравлічна засувка S1 фіксує клапан ГРМ на максимальній висоті підйому, запобігаючи потраплянню масла назад в резервуар і утримуючи поршень на місці. Енергія розширення стисненого повітря всередині циліндра приводу виконує основну роботу по переміщенню поршня PA і клапана ГРМ. Час (тривалість) між подачею живлення на соленоїди (час керування підйомом t_2 , рис. 1.40, а) визначає висоту підйому.

Коли соленоїд синхронізації TS знеструмлюється, золотниковий клапан SV1 повертається в нуль, і гідравлічна засувка S1 знову відкривається. Повітря, що потрапило в циліндр приводу, починає випускатися, і масло може вільно повертатися в резервуар (рис. 1.40, е). Як тільки поршень AP наближається до сидла клапана, шток поршня входить в тупикове гніздо в циліндрі компенсатора. При цьому, масло знаходиться в пастці і не може надходити по зворотній лінії в резервуар. У верхній частині штока клапана є невелика щілина, прорізна під кутом до осі (рис. 1.40, б). Чим глибше поршень просувається в глухий кут, тим менше стає перетин щілини, через яке проникає масло (підвищується ефективність гальмування клапана). Сучасні системи Free Valve мають конструкцію рампи, в якій інтегруються комплект приводів, засоби комунікацій і підключень (рис. 1.40, д).

Плюси системи Free Valve:

- знижується маса і розміри двигуна за рахунок виключення шестерень, приводних ременів (ланцюгів) і РВ ГРМ;
- збільшується питома потужність двигуна до 30%;
- зменшуються викиди токсичних газів в атмосферу;
- підвищується функціональність приводів клапанів, що дозволяє реалізувати функції відключення циліндрів, полегшення пуску, турбокомпресора;
- підвищується надійність і знижуються експлуатаційні витрати.

6. Системи відключення циліндрів.

Як окрему функціональну групу, розглянемо системи ГРМ, що дозволяють відключати окремі циліндри на режимах обмеженої потужності ДВЗ. З численних способів відключення циліндрів слід виділити кілька основних:

- відключення подачі палива, з одночасним сполученням неробочих циліндрів з атмосферою або з випускним трубопроводом;
- відключення подачі палива зі збереженням змінного ступеню дроселювання непрацюючих циліндрів;
- відключення впорскування палива по заданій програмі (через один або кілька циклів) з метою підтримки температурного режиму;
- відключення шляхом утримання впускних і випускних клапанів в закритому стані і припинення газообміну в непрацюючих циліндрах з періодичним відкриттям для запобігання їх від залипання.

На сьогоднішній день широкого поширення набули такі технології відключення клапанів [29, 30]:

- можливість виключення коромисла ACC (Active Cylinder Control), VCM (Variable Cylinder Management);
- застосування штовхачів спеціальної конструкції MDS (Multi-Displacement System), DoD (Displacement on Demand);
- використання кулачків різної форми АСТ (Active Cylinder Technology).

6.1. Система з складовим коромислом показана на (рис. 1.41, а).

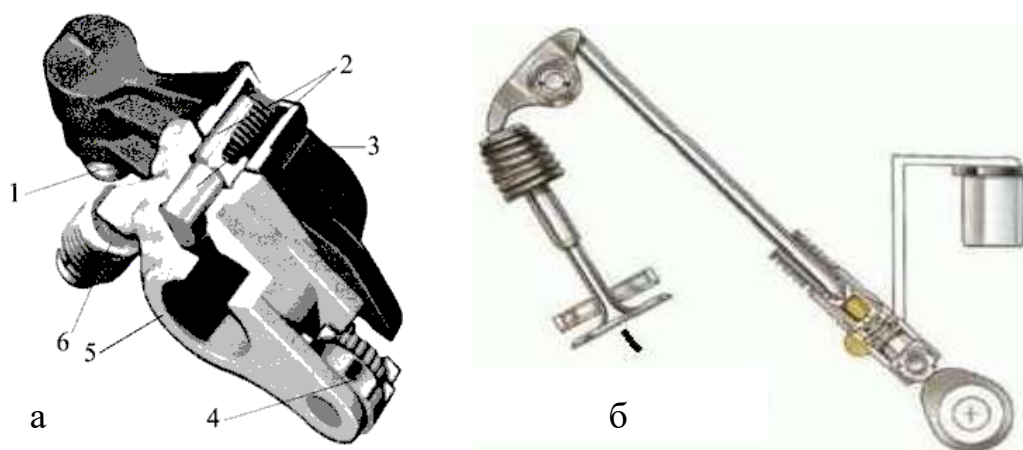


Рис. 1.41. Устрій ГРМ систем відключення циліндрів:
а – з складовим коромислом; б – з відключається штовхачем

Замикаючий плунжер 2, може від'єднувати додаткове коромисло 5 від основного 3, поєднаного з штовхачем 1. У заблокованому стані РВ, набігаючи на ролик 4 додаткового коромисла, впливає через замикаючий плунжер на основне коромисло, і клапан відкривається. При виході плунжера з зачеплення, переміщення кулачка РВ компенсуються пружинним елементом 6, основне коромисло залишається нерухомим, а клапан ГРМ знаходиться в закритому стані під дією основної повертаючої пружини [18].

6.2. Система ACC (Active Cylinder Control) реалізована аналогічно системі VTEC (див. рис. 1.36).

6.3. В системі VCM (Variable Cylinder Management) при рівномірному русі на невеликій швидкості відключається блок циліндрів V-образного двигуна (3 з 6), а при переході від максимального навантаження до часткового, – забез-

печується робота 4-х циліндрів. Алгоритм роботи VCM реалізований на базі системи VTEC (див. рис. 1.36).

6.4. В системі MDS (Multi-Displacement System) використовується штовхач з буферною камерою, в якій реалізується кінематичне роз'єднання РВ і клапана за допомогою блокуючого штифт-фіксатора (рис. 1.41, б). Тиск масла комується ЕК системи керування.

6.5. Система ACT (Active Cylinder Technology) забезпечує відключення двох циліндрів з чотирьох в діапазоні 1400...4000 хв⁻¹. Система АСТ базується на системі зміни фаз газорозподілу AVS (див. рис. 1.37). На повідковій муфті задіється профіль «робочого» або «нульового» кулачка.

6.6. В системі VCM (Valve Control Management) використовується електрогідравлічний привід регулювання клапанів для чотиритактних двигунів аналогічно системі UniAir (див. рис. 1.39, б) [31].

1.6. Побудування комплексних систем керування

Під назвою «Системи керування ДВЗ» розуміють комплексні системи, які виконують кілька функцій керування одночасно. Такі системи можна представити двома групами:

- комплексні системи керування типу Motronic (Mono Electronic);
- системи комплексного керування робочим циклом типу Trionic.

У першій групі систем, в єдиному ЕБК формуються сигнали керування виконавчими пристроями за окремими алгоритмами, що оптимізують, в другій, – за об'єднаною програмою керування впорскуванням, запалюванням, і газорозподілом. Інформаційна прив'язка (шини зв'язку) між датчиками і виконавчими пристроями в середовищі ЕБК Motronic визначає перелік сигналів вимірювальної інформації (датчики), на основі яких формується сигнал керування кожним виконавчим пристроєм або засобом контролю (рис. 1.42).

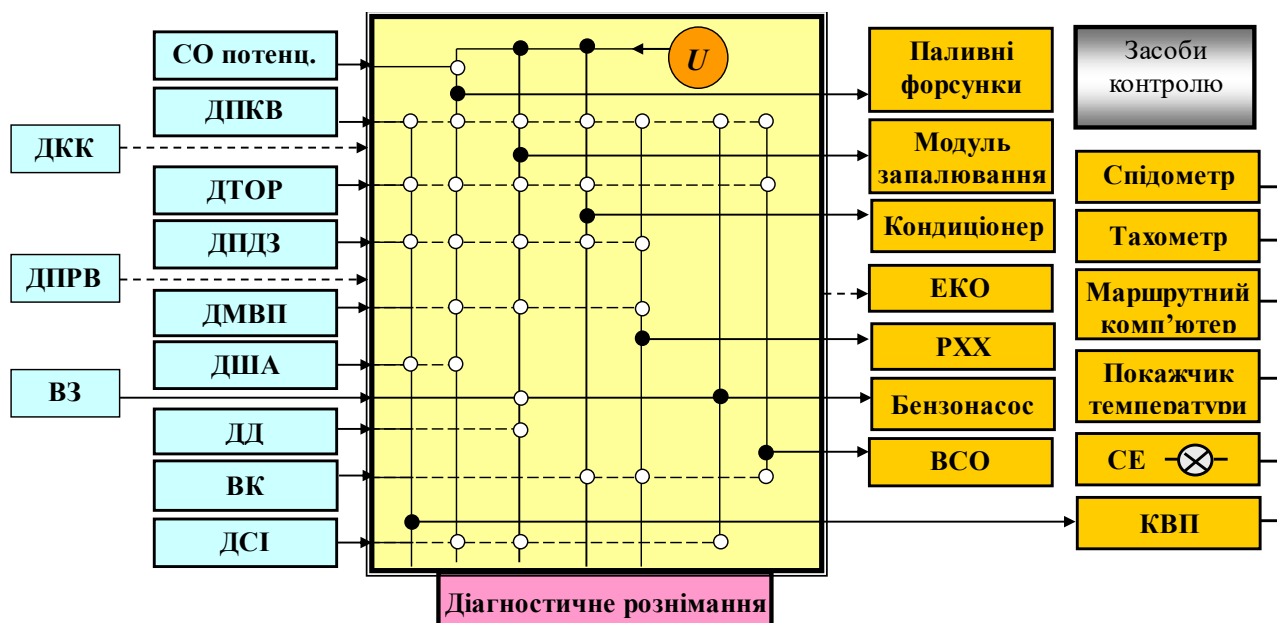


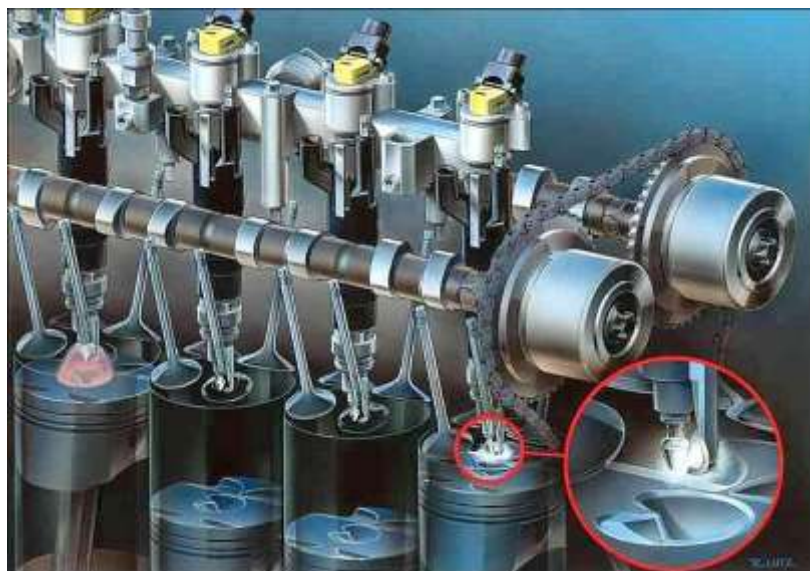
Рис. 1.42. Функціональна структура системи Motronic

Електронний блок системи керування, крім сигналів основних датчиків (див. п.п. 1.2), сприймає сигнали: СО-потенциометра; рівня напруги бортової мережі U ; ознаки включення запалювання (ВЗ) і кондиціонера (ВК); санкціонованого доступу системи іммобілайзера (ДСІ). На підставі сигналів датчиків вимірювальної інформації паралельно формуються сигнали для контрольно-вимірювальних приладів (КВП).

Система комплексного керування робочим циклом SAAB Trionic двигуна SCC (Saab Combustion Control) реалізує функції трьох систем – індивідуального запалювання, безпосереднього впорскування палива і ГРМ з керованими фазами [32].

Особливості двигуна SCC:

- не використовується багаточарове впорскування на відміну від GDI (Gasoline Direct Injection) двигунів виробництва Mitsubishi, Toyota, Nissan;
- паливо подається в циліндр зі стисненням повітрям;
- свічка запалювання і інжектор виконані в одному модулі SPI (Spark Plug Injection);
- зазор свічки варіюється ходом поршня;
- використовується система керування паливом з контролем згорання SCC (Saab Combustion Control);
- задіяна система зміни кутового положення кулачка ГРМ (типу VANOS), що забезпечує підтримку стехіометричного складу суміші і внутрішню рециркуляцію ВГ (рис. 1.43).



а



б

Рис. 1.43. Конструкція двигуна SCC: а – загальна компоновка; б – композиція циліндра

Під час такту стиснення, через свічку-форсунку впорскується порція стисненого повітря без бензину, створюючи турбулентність потоку для подальшого перемішування горючої суміші. На малих навантаженнях, коли суміш силь-

но розбавлена ВГ, забезпечується раннє запалення з «довгою» іскрою через бічний електрод. Зі зростанням навантаження, момент запалювання стає більш пізнім, і «довга» іскра «перемикається» через виступ в днище поршня. При цьому, іскровий зазор зменшується від 3,5 до 1 мм.

Точного регулювання обсягу ВГ, які залишаються в циліндрах двигуна SCC (внутрішня рециркуляція), домагаються за рахунок механізмів повороту впускного і випускного РВ шляхом зміни тривалості фази перекриття клапанів. Узгоджена робота систем впорскування, запалювання і ГРМ продемонстрована на рис. 1.44.

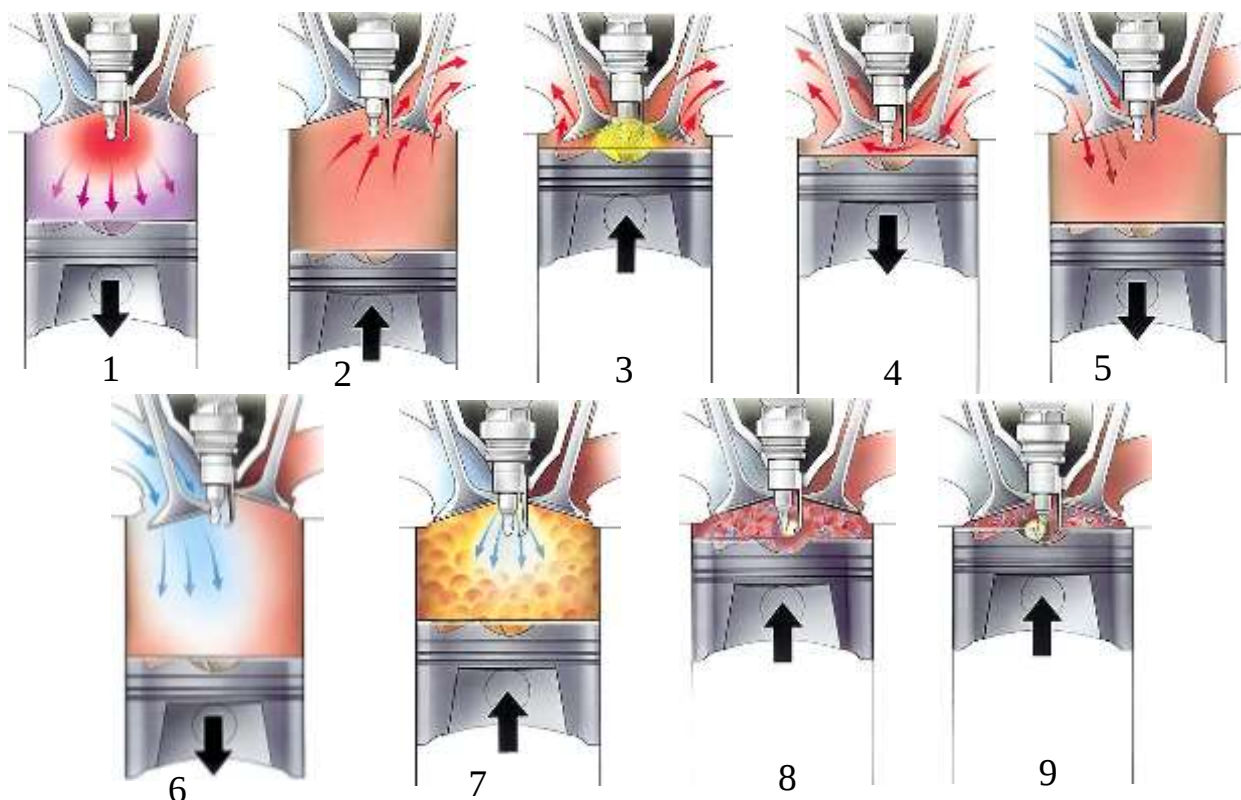


Рис. 1.44. Робочий цикл двигуна SCC: 1 – займання; 2 – випуск; 3 – впорскування; 4, 5, 6 – впуск; 7, 8, 9 – стиснення; 7 – подача повітря; 8 – займання; 9 – горіння

Фази 1 та 2 відбуваються традиційно. Під час фази 3 впорскується паливо і відбувається вихлоп газів через клапани. Далі, в фазі 4 вихлоп з газами всмоктується з випускного колектору і на фазі 5 вихлоп з паливом, і свіжий заряд повітря всмоктується з впускного колектору (рециркуляція) з подальшим засмоктуванням свіжого повітря 6. Потім подається стиснене повітря через модуль SPI 7 і настає іскровий пробій на електрод 8, і потім на поршень 9.

Додаткова функція комплексних систем полягає в керуванні ступенем стиснення робочої суміші в циліндрах двигуна. Механізми зміни ступеня стиснення VCR (Variable Compression Ratio) реалізовані в двигунах дослідних зразків і серійного виробництва інтегруються в конструкцію ДВЗ [8]:

- з додатковим шатуном (зміна довжини шатуна);
- з нахиленням циліндру (зміна остова);

- з зубчастою передачею (зміна положення робочої зони поршня);
- з траверсою шатуна (зміна ходу поршня);
- з ексцентриками кривошипа (зміна радіуса кривошипа);
- з ексцентриками КВ (зміна положення робочої зони поршня).

Схема VCR з додатковим шатуном показана на рис. 1.45, а.

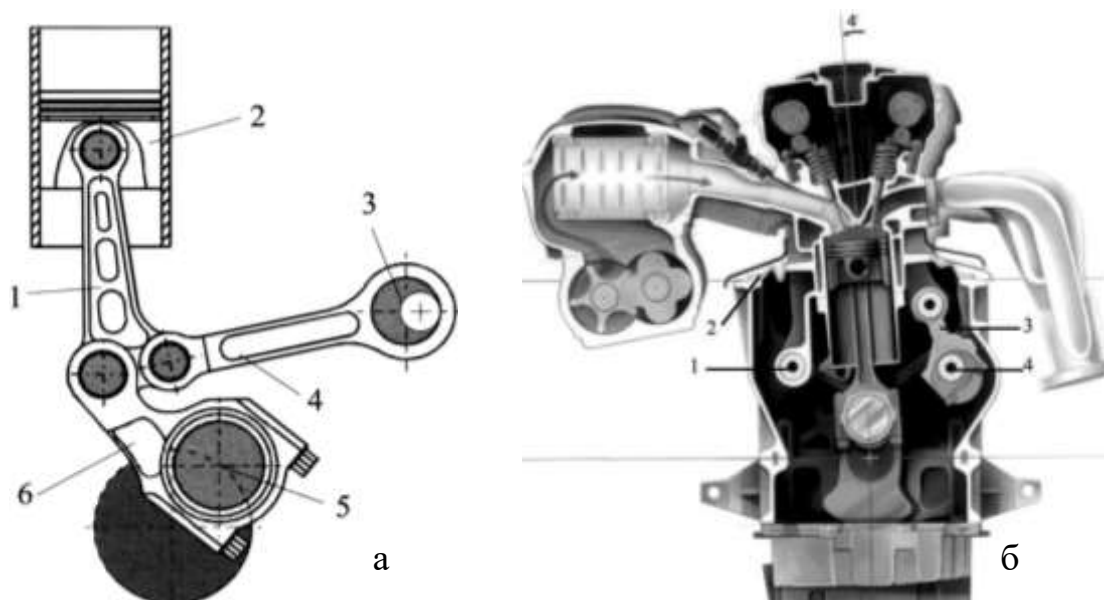


Рис. 1.45. Реалізація систем керування ступенем стиснення ДВЗ:

- а – з додатковим шатуном: 1 – основний шатун; 2 – поршень; 3 – ексцентриковий вал;
 4 – траверса; 5 – шатунна шийка КВ; 6 – додатковий шатун;
 б – з нахилом циліндра: 1 – опорна вісь; 2 – моногілька; 3 – шатун керування; 4 – кривошип керування

На режимах часткового навантаження додатковий шатун 6 займає крайнє нижнє положення і піднімає зону робочого ходу поршня 2. Ступінь стиснення при цьому максимальна. При високих навантаженнях, ексцентрик на валу 3 піднімає вісь верхньої голівки додаткового шатуна 6. При цьому, збільшується надпоршневий зазор і зменшується ступінь стиснення. Кут повороту ексцентрика 3 розраховується в ЕБК двигуна і реалізується за допомогою електроприводу на шаговому електродвигуні.

Двигун SVC (Saab Variable Compression) складається з двох частин. Верхня частина включає голівку блоку циліндрів, об'єднану з блоком циліндрів в єдиний вузол, який отримав назву «моногілька». Нижня частина складається з картера, КВ і поршнів (рис. 1.45, б). Моногілька 2 може відхилитися відносно нижньої половини двигуна, повертаючись навколо горизонтальній осі 1, закріпленої всередині картера. Поворот моногільки призводить до відхилення її вертикалі, зміни величини остова двигуна і, як наслідок, обсягу камери стиснення. Вісь обертання розташована таким чином, що для регулювання ступеню стиснення від 8:1 до 14:1 досить змінювати нахил моногільки в межах 4 °. Керуючий вплив на голівку реалізується за допомогою додаткового КШМ з гідроелектричним приводом під контролем електронної системи (програмної оп-

ції) *SAAB Trionic*. ЕБК системи розраховує ШІМ-сигнал керування ЕК на підставі даних про частоту обертання, навантаження і якості палива. Конструктив моногोलівки має власні системи змащення й охолодження, а місце її зчленування з картером герметизується гумовим гофрованим чохлом.

Механізм *VCR* двигуна *MCE-5 Development* представляє комбінацію КШМ і зубчастої передачі типу «шестерня-рейка» (рис. 1.46).

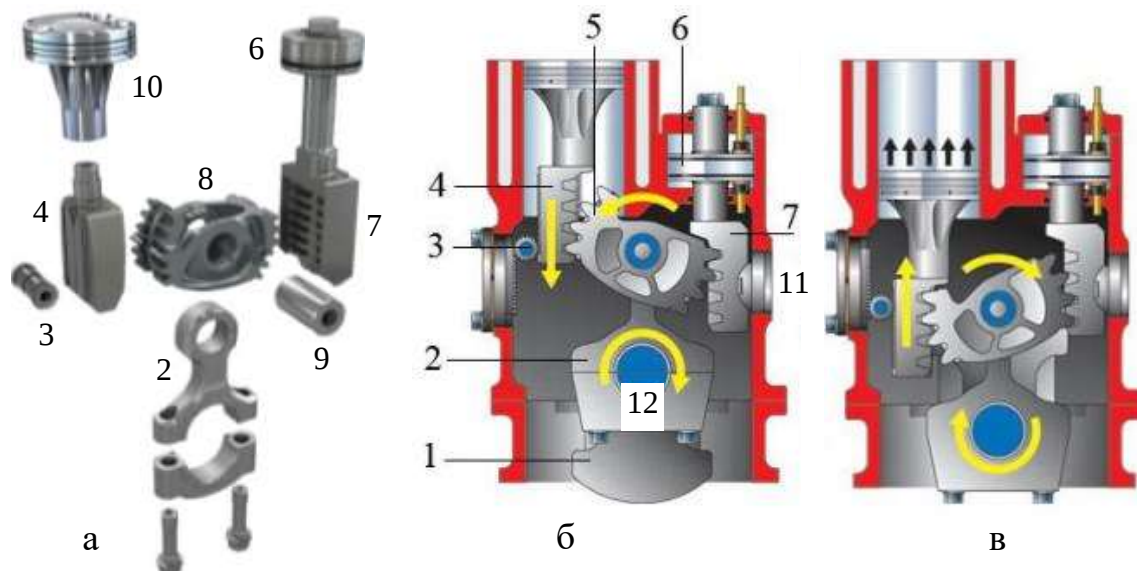


Рис. 1.46. Система зміни ступеню стиснення двигуна МСЕ-5:

а – елементи механізму; б, в – кінематика зміни руху поршня;

1 – колінчастий вал; 2 – шатун; 3 – зубчастий опорний ролик; 4 – зубчаста рейка поршня;

5 – зубчастий сектор; 6 – поршень керуючого циліндра; 7 – опорна зубчаста рейка

керування; 8 – зубчасте коромисло (траверса); 9 – вісь шатуна; 10 – поршень циліндра;

11 – позиційний фіксатор; 12 – шатунна шийка КВ

В якості виконавчих механізмів використані потужні гідравлічні домкрати 6, керовані за допомогою ЕК. Домкрат переміщує вгору-вниз опорну рейку 7, що знаходиться в зачепленні з зубчастою траверсою 8. Повертаючись на осі шатуна 9, траверса зміщує робочий хід поршня 10, змінюючи його положення в ВМТ.

Конструктори Infiniti, представили двигун з технологією *VC-T* (Variable Compression-Turbocharged), що дозволяє швидко змінювати ступінь стиснення від 8 до 14. У системі застосовано траверсний механізм, що забезпечує рухливе зчленування шатуна з його нижньої шийкою. Остання, в свою чергу, пов'язана з системою важелів електроприводу. За командами від ЕБК, електродвигун переміщує тягу, система важелів змінює положення, регулюючи тим самим висоту підйому поршня і, відповідно, змінюючи ступінь стиснення (рис. 1.47).

Зміна ступеню стиснення від 8:1 до 14:1 відбувається наступним чином. За командами ЕБК, електродвигун приводу 5 зрушує тягу актуатора 7, яка повертає проміжний вал 6 із зсувом вниз.

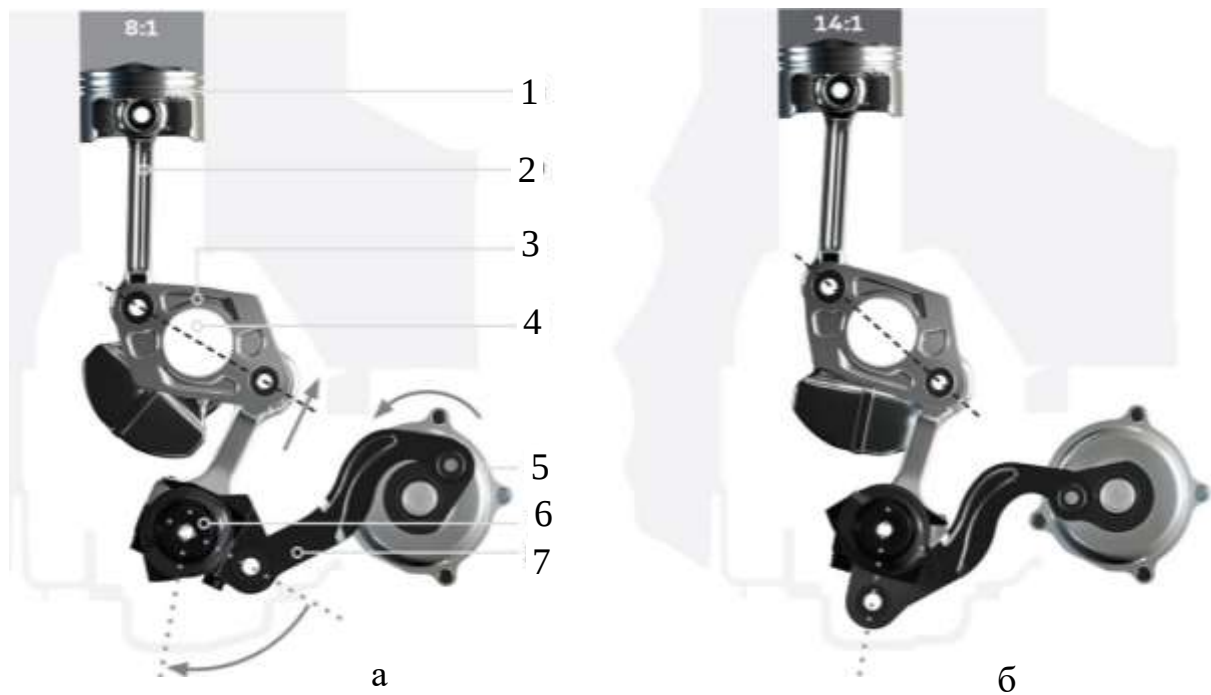


Рис. 1.47. Устрій і функціонування системи VCR мотора Infiniti VC-T:
а – при низькому ступені стиснення; б – при високому ступені стиснення

При цьому, змінюється кут нахилу траверсної підвіски 3 на шатунній шийці КВ 4, яка визначає висоту підняття шатуна 2 з поршнем 1 в циліндрі. Таким чином, ступінь стиснення коригується за рахунок зміни ходу поршня при фіксованій його позиції в НМТ.

У двигуні *Go Engine* фірми Gomecsys навколо шатунної шийки КВ розміщується рухлива ексцентрикова втулка 1 з зубчастим вінцем 2. Кутове положення втулки 1 змінюється за рахунок повороту відповідної зубчастої шестерні великого діаметру з внутрішнім зачепленням 3 (рис. 1.48, а).

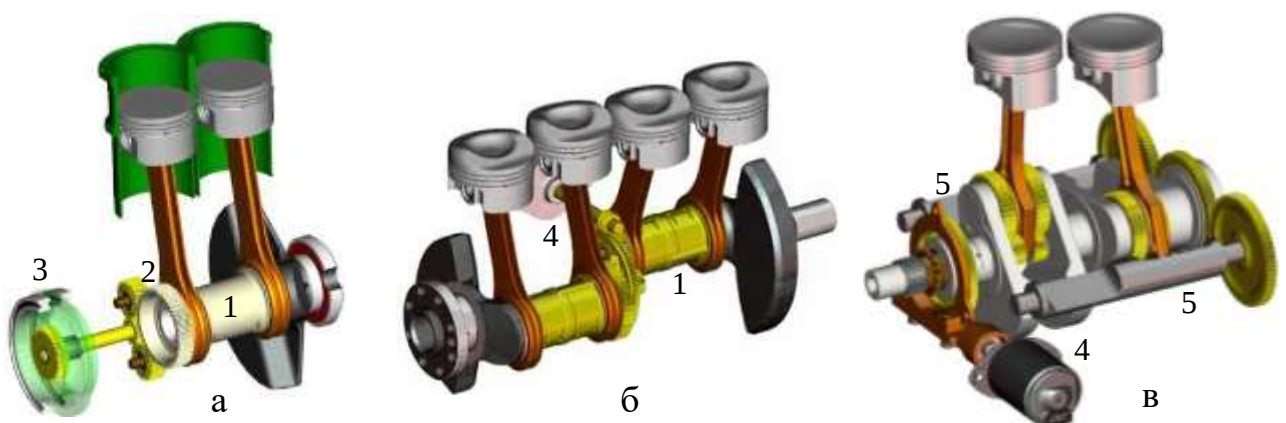


Рис. 1.48. Конструкції двигуна VCR Go Engine з ексцентриковими валами:
а – компоновка ексцентрикової муфти; б – композиція з централізованим керуванням;
в – композиція з балансирними валами

Привід ексцентрикової муфти може здійснюватися попарно або централізовано кроковим електродвигуном 4 через черв'ячну передачу (рис. 1.48, б). Таким чином, обертання валу актуатора призводить до зміни радіусу кривошипа і як наслідок, – до корекції ступеню стиснення в циліндрі. Дисбаланс ДВЗ, що виникає при цьому, компенсується балансирами валами 5 (рис. 1.48, в).

В системі *VCR Motorentechnik*, розробленої інженерами німецької компанії FEV, реалізується керування висотою підйому КВ з регулюванням ступеню стиснення в діапазоні від 8 до 16. Регулювальний вал обертається кроковим електродвигуном 1. Зміна положення осі обертання КВ компенсується двома ексцентриковими муфтами. Одна, з'єднує вал з маховиком, інша – зі шківом. Опорні шийки КВ, розміщені в ексцентрикових муфтах, які приводяться в дію актуатором (аналогічно рис. 1.48). Коли ексцентрики повертаються, КВ піднімається або опускається, і як наслідок, змінюється висота підйому поршнів і відповідно ступінь стиснення.

Тенденція розвитку, розглянутих систем комплексного керування робочим циклом, створює передумови до появи двигунів четвертого покоління – Tetronic, в яких функції керування системами запалювання, впорскування, клапанами ГРМ і ступенем стиснення в циліндрі (чотирьох систем) будуть поєднані загальним алгоритмом оптимізації.

Контрольні запитання до теми 1

1. Наведіть класифікацію систем керування ДВЗ?
2. Наведіть приклади лінгвістичної моделі функціональних систем керування ДВЗ.
3. Дайте загальну характеристику датчиків систем керування ДВЗ.
4. Дайте загальну характеристику виконавчих пристроїв систем керування ДВЗ.
5. Поясніть способи реалізації керуючих впливів системи додаткової подачі повітря на ХХ.
6. Поясніть способи реалізації керуючих впливів системи впуску повітря ДВЗ.
7. Визначить класифікаційні ознаки системи керування впорскуванням палива бензинових ДВЗ.
8. Поясніть способи реалізації силової частини систем запалювання ДВЗ.
9. Поясніть функції та варіанти структур МС охолодження ДВЗ.
10. Наведіть класифікацію систем керування газорозподілом за загальними ознаками.
11. Поясніть принципи будови ДВЗ зі зміненням ступеню стиску в циліндрах?
12. Поясніть структуру і функціонування систем екологічного призначення, які застосовуються на ДВЗ автомобіля?
13. Поясніть комплектацію варіантних систем рециркуляції ВГ в бензинових ДВЗ.
14. Поясніть функціонування системи впорскування палива типу KE-J.
15. Поясніть функціонування системи впорскування палива типу Mono-J.
16. Поясніть функціонування системи впорскування палива типу L-J.
17. Назвіть відзнаки систем розподіленого імпульсного впорскування палива різного типу LE-J, LH-J, LD-J, D-J.
18. Наведіть режими імпульсного впорскування палива в інжекторних ДВЗ.
19. Поясніть особливості улаштування і функціонування системи впорскування палива типу D-J.
20. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ з тангенціальною корекцією РВ.

21. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ з підйомом клапанів.
22. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ зі зміною профіля кулачка.
23. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ з автономними електромагнітними приводами.
24. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ з автономними гідроелектричними приводами.
25. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ з автономними комбінованими приводами за технологією FreeValve.
26. Перелічить методи та способи реалізації МС відключення циліндрів.
27. Поясніть комплектацію і функції комплексної системи керування бензиновим ДВЗ типу Motronic.
28. Поясніть процес керування робочим циклом бензинового ДВЗ за SPI-технологією в комплексних МС Saab Trionic.
29. Поясніть способи реалізації МС змінення ступеню стиску в циліндрах ДВЗ.
30. Назвіть виконавчі пристрої для реалізації керуючих впливів в МС зі змінням стиску в циліндрах ДВЗ.

Тема 2. Побудування мехатронних систем дизельних ДВЗ

2.1. Особливості конструкції і робочих процесів в дизелях

Дизельний двигун працює за рахунок самозаймання розпиленого палива, від розігрітого повітря внаслідок його стиснення. Для успішного загорання, необхідно провести подачу палива в циліндр приблизно в кінці такту стиснення, а так як повітря в циліндрі сильно стиснуте, паливо теж має бути подано під високим тиском. На практиці в різних двигунах паливо вприскується під тиском від 100 до 2500 атм.

Співвідношення паливо/повітря в циліндрі може істотно відрізнятись від стехіометричного, причому дуже важливо забезпечити надлишок повітря, так як полум'я факела займає значну частину обсягу камери згорання і атмосфера в камері повинна до останнього забезпечити потрібний вміст кисню. Якщо цього не відбувається, виникає масивний викид незгорілих вуглеводнів з сажею.

Щоб забезпечити найкращі умови для самозаймання і найбільш повного згорання, паливо в циліндрі розпилюють за допомогою форсунки. Залежно від конструкції камери згорання, розрізняють дизельні двигуни з розділеною і нерозділеною камерою.

У дизелях з розділеною камерою (IDI – Indirect Injection) паливо подається в додаткову камеру (передкамеру), яка пов'язана з циліндром спеціальним каналом. Це сприяє якісному перемішуванню палива, що вприскується, з повітрям і більш повному його згорянню. Розрізняють дві конструкції передкамер – форкамери і вихрові камери. У період такту стиснення, повітря по каналу надходить в передкамеру, створюючи турбулентний потік, в який потім вприскується паливо. Спалахнувши, суміш надходить в основну камеру згорання, де і згоряє повністю.

Таким чином, у розділеній камері, згорання відбувається двоступеневе згорання палива. Це знижує навантаження на поршневу групу, а також робить звук роботи двигуна більш м'яким. Недоліком дизельних двигунів з розділеною камерою згорання є збільшення витрати палива і погіршення пускових якостей ДВЗ. Останній недолік усувається шляхом додаткового нагрівання суміші за допомогою свічок накаливання (СН).

У дизелях з нерозділеною камерою (DI – Direct Injection) вприскування палива відбувається безпосередньо в циліндр, а камера попереднього згорання виконана у днищі поршня. Такі двигуни економніше попередників, однак, мають підвищений шум і вібрації.

Особливості робочих процесів у дизелях (на відміну від бензинових ДВЗ), обумовлюють і особливості керування ними в експлуатаційних режимах:

- педаль акселератора керує (змінює потужність) не поданням повітря (положенням дроселя), а циклової подачею палива (дозатором);
- уприскування палива відбувається дозовано, безпосередньо в циліндри під великим тиском в певний момент;
- керування додатковими системами турбонаддува і полегшення пуску;

- попереднє прокачування палива при заповненні порожнього бака;
- перемикання передач у вузькому діапазоні робочих характеристик;
- виникнення вібрацій на перехідних режимах;
- зниження ресурсу паливної апаратури при перегріванні дизеля.

Для оптимізації характеристик дизельних двигунів використовується різні підходи:

- підвищення тиску вприскування палива в циліндри;
- формування необхідної характеристики вприскування;
- регулювання кута випередження вприскування;
- застосування попереднього вприскування палива;
- адаптації циклової подачі, тиску наддування і кута випередження вприскування до поточного режиму ДВЗ;
- дозування величини пускової подачі залежно від температури охолоджуючої рідини двигуна і навколишнього середовища;
- регулювання мінімальної частоти обертання ХХ;
- керування рециркуляцією ВГ;
- використання систем полегшення пуску;
- підвищення точності дозування циклової подачі і кута випередження вприскування.

Така оптимізація керуючих впливів на дизельний ДВЗ реалізується за допомогою систем електронного керування EDC (Electronic Diesel Control) різної будови. За способом реалізації вприскування палива в дизельних двигунах з EDC розрізняють системи:

- з керованою рейкою рядного ПНВТ типу РЕ;
- з ПНВТ розподільного типу VE з аксіальним плунжером;
- з ПНВТ розподільного типу VR роторні;
- з насос-форсунками UIS (Unit Injector System);
- з індивідуальними ПНВТ UPS (Unit Pump System);
- акумуляторні системи типу CR (Common Rail).

Відзначимо, що перші три з перерахованих систем являють групу об'єднаного керування подачею палива, а останні три – розподіленого керування вприскуванням по циліндрах.

На відміну від керування автомобілів з дизелями, що мають традиційні рядні або ПНВТ розподільного типу, водій автомобіля з EDC не може чинити прямого впливу, наприклад, через педаль акселератора з механічним приводом, на величину подачі палива. Навпаки, кількість палива, що вприскується визначається переліком робочих параметрів, як наприклад: вхідний сигнал від водія (положення педалі акселератора); робочий режим двигуна; температура охолоджуючої рідини двигуна; емісія токсичних компонентів та ін.

Використовуючи ці робочі параметри (змінні), ЕБК не тільки розраховує кількість палива, що вприскується, але може також змінювати момент початку вприскування палива (тобто кут випередження вприскування). Це означає, що може бути застосований всебічний захисний метод, при якому визначаються відхилення параметрів і, в залежності від їх важливості, ініціюються відповідні

контр-мери. Система EDC включає в себе певну кількість контурів керування зі зворотним зв'язком.

Відзначимо, що в дизелях з розподіленим вприскуванням з'являється можливість реалізувати – попередній, основний і додаткові дози вприскування за один робочий цикл, за рахунок застосування керованих форсунок і насос-форсунок.

Структура мікропроцесорних EDC відрізняється набором датчиків і виконавчих пристроїв. Для збору інформації про роботу двигуна в системі передбачені три типи датчиків: режимних параметрів (частоти обертання, положення дозатора і педалі акселератора, синхронізації моменту вприскування), корекції (температури палива, повітря і масла, атмосферного тиску) і захисту (температури охолоджуючої рідини, тиску масла в системі змащення).

Особливо важливим завданням подачі палива в дизельний двигун є якісне забезпечення перехідних процесів. Це безпосередньо пов'язано з техніко-економічними показниками роботи двигуна. Для усунення статичних помилок і підвищення точності регулювання на перехідних процесах, в системі подачі палива використовуються ПД-регулятори, які враховують інерційність робочих процесів в двигуні. При цьому, П-складова відповідає ступеню натискання, Д-складова – інтенсивності натискання на педаль акселератора. Диференціююча і інтегруюча складові регулятора дозволяють компенсувати інерційні властивості двигуна.

Побудована, таким чином система, що стежить (зі зворотним зв'язком), дозволяє звести до мінімуму запізнювання реакції і післядію (коливальний процес) об'єкта керування. Математично, функція сигналу керування виконавчим пристроєм (в дозуючій системі палива) в загальному вигляді може бути представлена рівнянням.

$$y(t) = k_1 x(t) + k_2 \frac{dx}{dt} + k_3 \int x dt .$$

де k_i – коефіцієнти ідентифікації мехатронної системи.

Регулювання в зоні часткових навантажень двигуна зводиться до обчислення розрахункової дози або часу вприскування палива, і реалізації цього оптимального впливу (закон відповідності натискання на педаль акселератора і оптимальної реакції виконавчого пристрою дозатора).

В системах EDC реалізуються алгоритми оптимального керування робочими процесами на різних експлуатаційних режимах із застосуванням характеристичних карт тривалості і кута випередження вприскування. Аналогічно інжекторним бензиновим двигунам EDC забезпечує декілька синхронних режимів вприскування палива.

Пускова подача палива розраховується як функція температури охолоджуючої рідини і частоти обертання колінчатого валу двигуна. ЕБК формує сигнал керування на пусковою подачею палива від моменту ввімкнення «запалювання» і свічок накаливання і до моменту, коли досягається мінімальна частота

обертання колінчастого валу двигуна. Водій не може чинити впливу на величину пускової подачі.

Під час руху автомобіля кількість впорскуваного палива розраховується як функція положення педалі акселератора і частоти обертання колінчастого валу двигуна з використанням характеристичних карт. Таке керування забезпечує оптимальну відповідність дій водія і вибору потужності двигуна.

На обертах холостого ходу витрата палива зумовлена головним чином механічним ККД двигуна. В сучасному щільному русі транспорту з частими зупинками основна доля витрати палива припадає на режими холостого ходу. Це означає, що частота обертання холостого ходу повинна підтримуватися якомога більш низькою в певному діапазоні, щоб компенсувати додаткове навантаження двигуна, зумовлене умовами експлуатації. Таким чином, потрібна частота обертання на холостому ході, і відповідна доза палива, визначається залежно від положення селектора коробки передач і значення температури охолоджуючої рідини.

Система керування плавністю роботи двигуна відстежує зміни в його роботі в кожен момент часу, коли відбувається спалах в циліндрах і порівнює роботу циліндрів одне з одним. Потім відбувається регулювання кількості впорскуваного палива в кожен циліндр залежно від ступеню розбалансу кутової швидкості обертання між окремими циліндрами. В результаті цього, вклад кожного циліндра в створення обертаючого моменту двигуна стає однаковим.

Обмеження кількості впорскуваного палива на режимах часткових навантажень здійснюється на підставі параметрів вхідних сигналів датчиків (масової витрати повітря, частоти обертання двигуна, температурі охолоджуючої рідини).

Збільшення або зменшення кількості впорскуваного палива відбувається при інтенсивному натисненні або відпусканні педалі акселератора. Такі дії призводять до коливань обертаючого моменту двигуна і утворення «пружних» вібрацій зі зміною частоти обертання КВ двигуна.

Демпфування коливань частоти обертання КВ здійснюється шляхом профазної зміни дози палива (ПД-регулювання). Процес демпфування контролюється датчиком кутової швидкості КВ.

Атмосферний тиск (умови експлуатації) вимірюваний відповідним датчиком (сигнал корекції) впливає на продуктивність роботи системи надування повітря і значення циклової подачі палива, змінюючи обертаючий момент двигуна на стаціонарних режимах.

Відключення подачі палива в окремі циліндри передбачається на режимах обмеженої потужності і холостого ходу. При цьому, використовується алгоритм, що забезпечує плавність переходу на обмежену кількість циліндрів (виключення коливань обертаючого моменту шляхом ПД-регулювання).

Припинення подачі палива відбувається при зупинці дизельного двигуна шляхом зачинення ЕК в магістралях подачі палива).

На дизельних ДВЗ використовуються додаткові системи, що мають на бензинових двигунах обмежене застосування: передпускового підігріву; полегшення пуску; турбонаддува; рециркуляції ВГ.

Для запуску дизельного ДВЗ потрібна значна енергія, особливо при низьких температурах навколишнього середовища. Щоб знизити розрахункову потужність пускової установки, на дизелях застосовують *системи передпускового підігріву* (до включення стартера) і *полегшення пуску* (після включення стартера) ДВЗ з електричними нагрівачами, розміщеними в робочих об'ємах (циліндрі, магістралях подачі палива і повітря) двигуна. Підключення свічок накалювання СН до АКБ, після повороту замка ВЗ в перше положення, проводиться автоматично по командам ЕБК з урахуванням температури підкапотного простору t° (рис. 2.1).

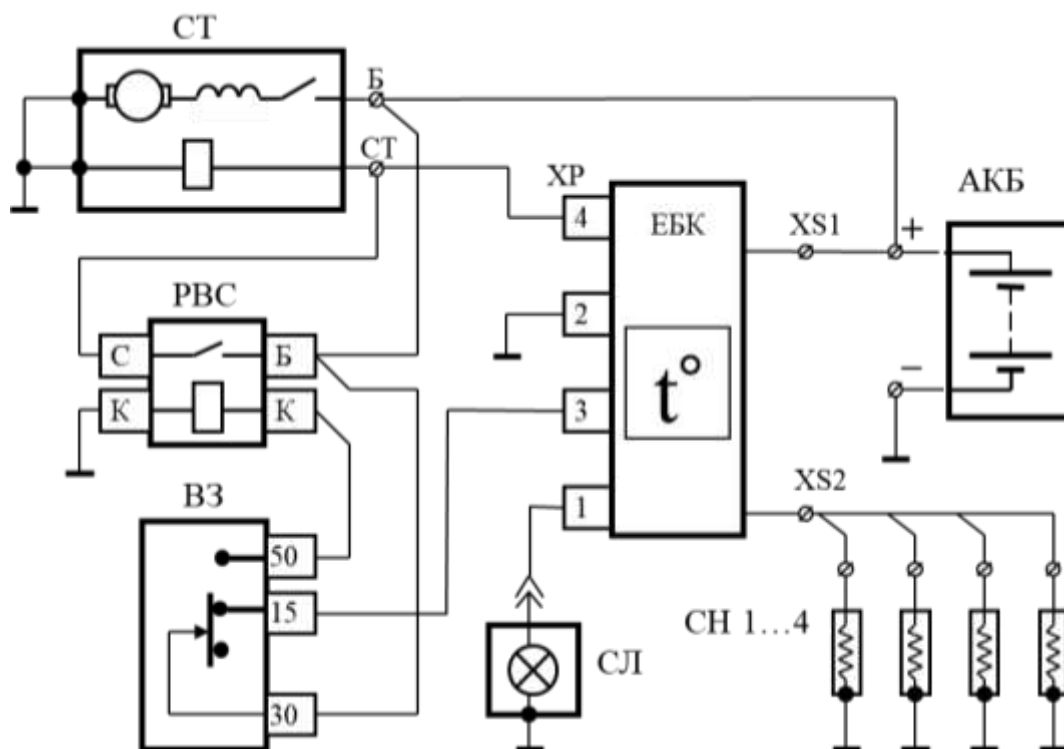


Рис. 2.1. Схема системи передпускового підігріву і полегшення пуску дизеля

Включення стартера СТ за допомогою реле включення стартера РВС відбувається після переведу ВЗ в друге положення. У структурі ЕБК передбачені таймери і силовий драйвер з електронним захистом від КЗ, які забезпечують кілька функцій:

- передпусковий підігрів з урахуванням температури навколишнього середовища;
- світлову індикацію СЛ готовності до запуску;
- фіксований час включення СН до вмикання стартера;
- підключений стан СН в період пуску двигуна;
- температурну підтримку паливної суміші протягом фіксованого часу після відключення стартера.

Датчик температури навколишнього середовища розташований безпосередньо в електронному блоці керування. При реалізації функцій на базі мікропроцесорної системи керування двигуном можуть використовуватися датчики температури (охолоджуючої рідини, палива, повітря на впуску) зовнішнього підключення і реле дистанційного включення СН.

На даний час турбонаддув є найбільш ефективною системою підвищення потужності двигуна без збільшення частоти обертання КВ і об'єму циліндрів. Таким чином, до основних переваг двигунів з турбонаддувом слід віднести:

- меншу питому витрату палива;
- велику питому потужність;
- можливість оптимізації тягових характеристик двигуна;
- знижену гучність і токсичність вихлопу.

У системах турбонаддува застосовуються турбіни з різним типом приводу (рис. 2.2).

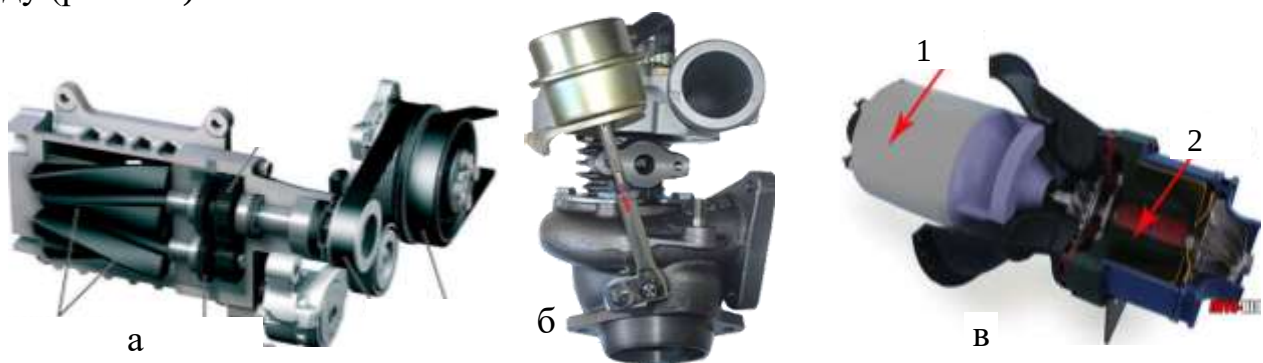


Рис. 2.2. Пристрої турбонаддува дизелів:

а – з механічним приводом; б – з газовим приводом; в – з електроприводом

Турбо-нагнітач являє роторний компресор з механічним приводом від ДВЗ (рис. 2.2, а). Недолік – частина потужності ДВЗ йде на забезпечення роботи самого компресора. Тому, двигун заданої потужності, має більшу витрату палива.

Турбокомпресор (газотурбінний нагнітач), заснований на використанні енергії ВГ, які спрямовані на привід турбіни (рис. 2.2, б). Перевага – відсутній механічний зв'язок з валом двигуна (малі втрати потужності ДВЗ на привід).

Способи керування продуктивністю турбонаддува:

- відключення приводу турбо-нагнітача (керовані гідро/пневмоелектричні зчеплення);
- керування частотою обертання турбіни (електропривод компресора);
- керування перетином трубопроводів ВГ і повітря, що нагнічується (пневмоелектричні приводи клапанів і засувки);
- керування геометрією турбіни (пневмоелектричні приводи лопаток).

Комбінований наддування поєднує механічний і турбонаддув. На низьких обертах ДВЗ включається механічний нагнітач. З ростом обертів вступає в дію турбокомпресор, а механічний нагнітач відключається.

Турбокомпресор з електроприводом 1 турбіни 2 (рис. 2.2, в) дозволяє забезпечити турбонаддув на будь-яких експлуатаційних режимах ДВЗ з гнучким керуванням продуктивністю компресора (тиском повітря на вході).

Керування продуктивністю турбокомпресора, в більшості випадків, реалізується за допомогою лінійних пневмоприводів клапанів або засувок встановлених в каналі, який шунтує турбінну секцію компресора (рис. 2.3, а).

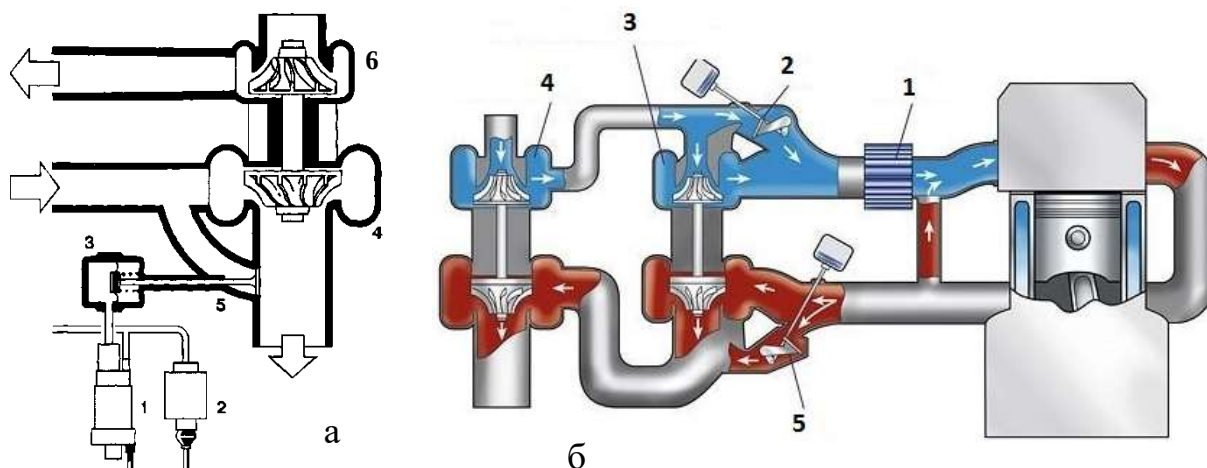


Рис. 2.3. Системи турбонаддува:

а – одноступенева з керованим клапаном: 1 – пневматичний ЕК; 2 – електровакуумний насос; 3 – пневмопривід клапана ВГ; 4 – газова турбіна; 5 – перепускний клапан;

б – двоступенева з керованими заслінками: 1 – інтеркулер повітря, що нагнічується;

2 – перепускний клапан повітря, що надувається; 3 – турбокомпресор ступені високого тиску; 4 – турбокомпресор ступені низького тиску; 5 – перепускний клапан ВГ

У даній системі електроніка керує тиском в пневмоприводів за допомогою насоса 2 і лінійним становищем клапана 5 за допомогою пневмоелектричного приводу 1 і 3.

Система двоступеневого турбонаддува складається з двох турбокомпресорів різного розміру, встановлених послідовно в випускному і впускному трактах. Керування потоками газів в системі реалізується аналогічним чином (рис. 2.3, б).

На низьких обертах двигуна тиск ВГ невеликий, перепускні клапани 5 і 2 закриті. В такому випадку, ВГ повністю проходять через малу турбіну компресора 3 (мінімальна інерція і максимальна віддача) і далі через велику турбіну компресора 4. При цьому, велика турбіна майже не обертається через більшу інерційність, а мала – забезпечує достатню продуктивність компресора 3 у впускному тракті. Таким чином, повітря проходить послідовно через великий (перший ступінь) і малий (другий ступінь) компресори.

З ростом обертів відбувається спільна робота турбокомпресорів. Клапан 2, як і раніше закритий, а клапан 5 поступово відчиняється, забезпечуючи обертання великої турбіни. Ефективність роботи великого компресора 4 зростає.

При повному навантаженні, клапан 5 відчинений повністю. Велика турбіна розкручується до максимальної частоти, а мала – зупиняється. При цьому,

відчиняється клапан наддування 2 і стиснене повітря під тиском компресора 4 надходить безпосередньо до двигуна. Таким чином, система двоступеневого наддування усуває відоме протиріччя дизельних двигунів між високим крутним моментом на низьких обертах і максимальною потужністю на високих обертах. В результаті, номінальний крутний момент досягається швидко і підтримується в широкому діапазоні обертів двигуна, забезпечуючи максимальне підвищення потужності.

Турбокомпресор із змінною геометрією турбіни, застосовуваний в двигунах TDI (Turbocharged Direct Injection), має дві загальноприйняті назви, які використовуються різними виробниками: VGT (Variable Geometry Turbocharger – турбокомпресор із змінною геометрією) застосовує Borg Warner і VNT (Variable Nozzle Turbine – турбіна зі змінним соплом) застосовує Garrett [33].

На відміну від звичайного турбокомпресора, VGT-турбокомпресор може регулювати напрям і величину потоку ВГ, чим досягається оптимальна частота обертання турбіни і відповідно продуктивність компресора. VNT-турбіна поєднує напрямні лопатки 1, механізм керування 2 і вакуумний привід 3 (рис. 2.4, а).

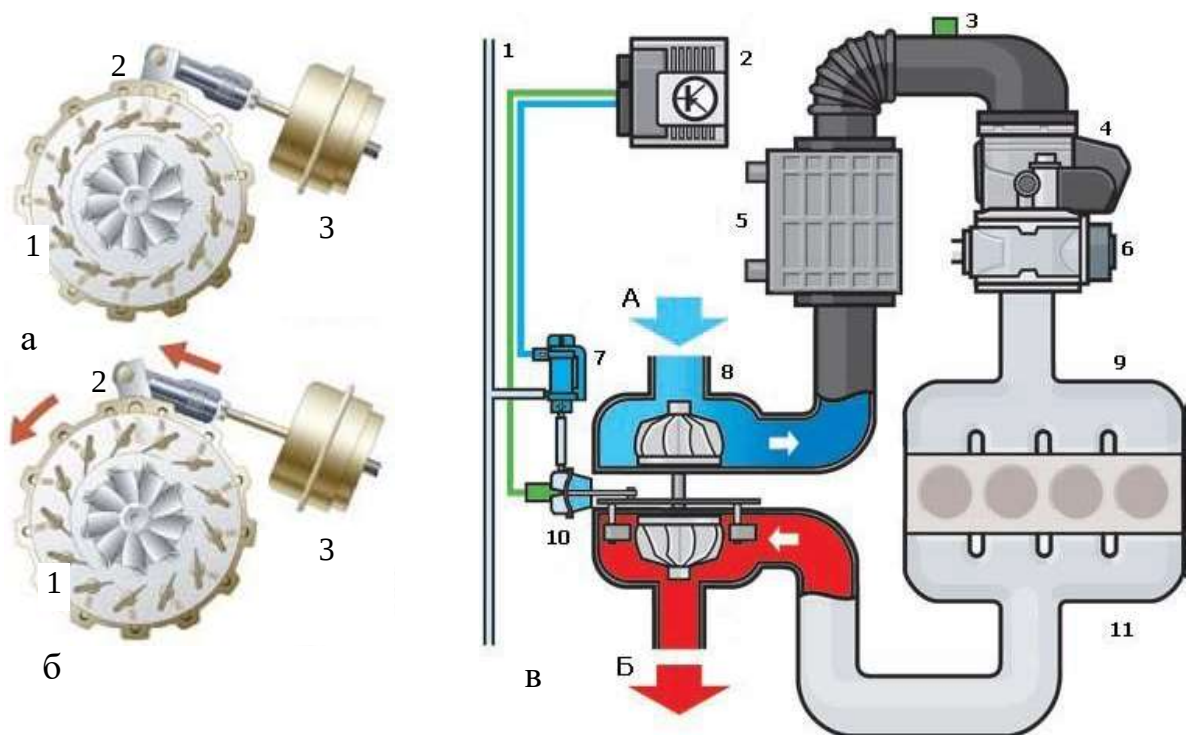


Рис. 2.4. Система наддування із змінною геометрією турбіни:

а, б – положення лопаток в діапазоні регулювання: 1 – газо-забірні лопатки турбіни;

2 – механізм керування; 3 – пневмопривід;

в – схема системи: 1 – пневмопривід; 2 – ЕБК двигуна; 3 – датчики тиску наддування і температури повітря на впуску; 4 – модуль повітряної заслінки з датчиком положення;

5 – інтеркулер повітря, що нагнічується; 6 – пневматичний ЕК рециркуляції ВГ;

7 – пневматичний ЕК керування приводом лопаток; 8 – компресор; 9 – впускний колектор;

10 – пневмопривід лопаток з датчиком положення; 11 – випускний колектор

Направляючі лопатки призначені для зміни швидкості і напрямку потоку ВГ за рахунок зміни перерізу каналу подачі газів. Клапан керування 7 пневмоприводом спрацьовує залежно від потрібного значення тиску наддування, яке контролюється двома датчиками 3 (рис. 2.4, б).

На низьких обертах двигуна енергія ВГ невелика, направляючі лопатки знаходяться в закритому положенні. За рахунок малої площі перетину, швидкість потоку ВГ збільшується, і турбіна обертається швидше, підвищуючи продуктивність компресора.

При різкому збільшенні обертів двигуна, внаслідок інерційності системи, енергії ВГ нестачає для необхідної продуктивності компресора. Тому, для проходження «турбоями» лопатки повертаються з деякою затримкою, чим досягається оптимальний тиск наддування.

На високих обертах двигуна енергія ВГ максимальна. Для запобігання надмірному тиску наддування, лопатки повертаються на максимальний кут, забезпечуючи найбільшу площу перерізу каналу подачі ВГ при мінімальній швидкості потоку.

Надлишок повітря в дизелі призводить до утворення великої кількості оксидів азоту, завдяки чому, застосування *системи рециркуляції газів EGR* в дизелях дещо відрізняється від алгоритму роботи системи в бензинових ДВЗ. У дизелях, клапан EGR відкривається на холостому ході і подає до 50% об'єму повітря на впуск. З ростом обертів, клапан пропорційно закривається до повного закриття при максимальному навантаженні [34]. Під час прогрівання двигуна, клапан також повністю закритий. Застосування EGR на дизелях дозволяє домогтися:

- зниження викидів NO_x до 50%;
- зниження викидів сажі на 10%;
- м'якої роботи із низькою температурою.

Залежно від стандарту за токсичністю ВГ, на дизелях застосовуються різні схеми системи EGR (рис. 2.5).

Система EGR високого тиску (рис. 2.5, а, б) застосовується на дизелях, що відповідають вимогам Євро 4, низького тиску (рис. 2.5, в), – Євро 5, комбінованої структури (рис. 2.5, г), – Євро 6 [35].

У турбованих дизелях, тиск на впуску може перевищувати тиск на випуску, що унеможливорює рециркуляцію вихлопних газів. В цьому випадку, для створення необхідного зниженого тиску у впускному трубопроводі встановлюється регулююча впускна заслінка з електроприводом, аналогічна дросельному вузлу бензинових ДВЗ.

2.2. Устрій апаратів високого тиску

У дизельних двигунах використовуються системи впорскування палива, які незалежно від типу, мають два основних компоненти: паливний насос високого тиску (ПНВТ) і форсунки. Відмінності систем полягають в їх устрої, розташуванні функціональних елементів і наявності додаткових компонентів [36].

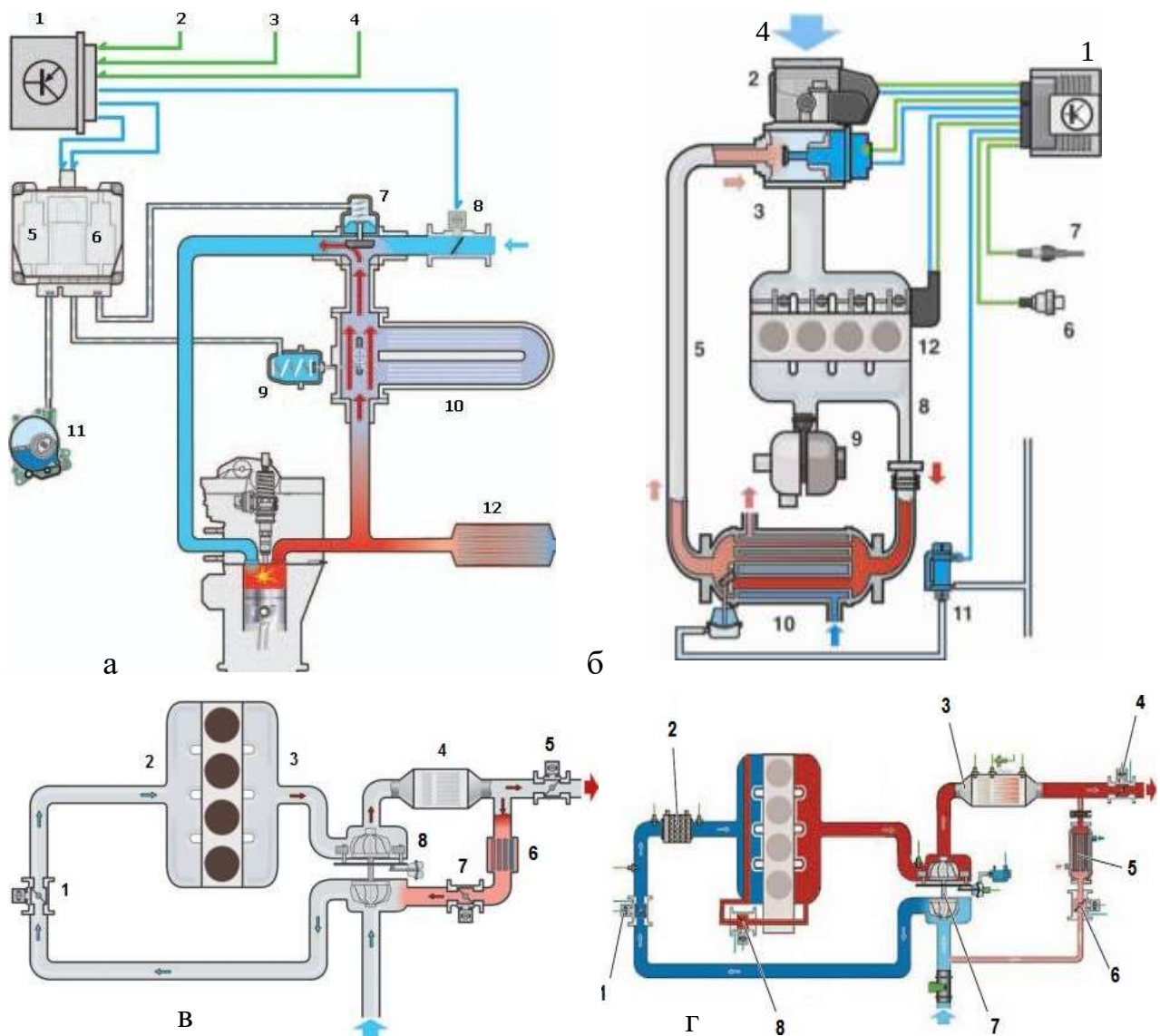


Рис. 2.5. Системи EGR дизелів з охолодженням газів:

- а* – високого тиску з пневматичним клапаном EGR: 1 – ЕБК двигуна; 2 – сигнал датчика частоти обертання КВ; 3 – сигнал датчика ДМВП; 4 – сигнал датчика ДТОР; 5 – пневматичний ЕК керування рециркуляцією; 6 – пневматичний ЕК керування заслінкою інтеркулера ВГ; 7 – клапан рециркуляції ВГ з пневмоприводом; 8 – електропривод впускної заслінки; 9 – вакуумний привід заслінки інтеркулера ВГ; 10 – інтеркулер ВГ; 11 – вакуумний насос; 12 – каталітичний нейтралізатор;
- б* – високого тиску з електромагнітним клапаном EGR: 1 – ЕБК двигуна; 2 – блок впускної заслінки з датчиком положення; 3 – пневматичний ЕК рециркуляції ВГ з датчиком положення; 4 – вхідне повітря; 5 – трубопровід для підведення ВГ; 6 – датчик ДТОР; 7 – датчик ДКК; 8 – впускний колектор; 9 – турбокомпресор; 10 – інтеркулер ВГ; 11 – пневматичний ЕК пневмопривода заслінки інтеркулера ВГ; 12 – електропривод впускних заслінок з датчиком положення;
- в* – низького тиску: 1 – впускна заслінка; 2 – впускний колектор; 3 – впускний колектор; 4 – фільтр сажі; 5 – впускна заслінка; 6 – інтеркулер ВГ; 7 – заслінка рециркуляції; 8 – турбокомпресор;
- г* – комбінованої структури: 1 – впускна заслінка; 2 – інтеркулер повітря; 3 – фільтр сажі; 4 – впускна заслінка; 5 – інтеркулер ВГ; 6 – заслінка рециркуляції низького тиску; 7 – турбокомпресор; 8 – заслінка рециркуляції високого тиску

Форсунка (інжектор) – основний функціональний елемент системи впорскування, призначена для дозованої подачі палива, його розпилення в камері згоряння з метою утворення паливно-повітряної суміші. Залежно від способу здійснення впорскування розрізняють механічні, електромагнітні, електрогідравлічні і п'єзoeлектричні форсунки.

Механічні форсунки закритого типу здійснюють впорскування палива по досягненню критичного тиску в клапанній камері, значення якого незмінно і визначається конструктивними параметрами клапанного механізму.

Електромагнітна форсунка являє електромагнітний привід голчастого запірнього клапана (рис. 2.6, а).

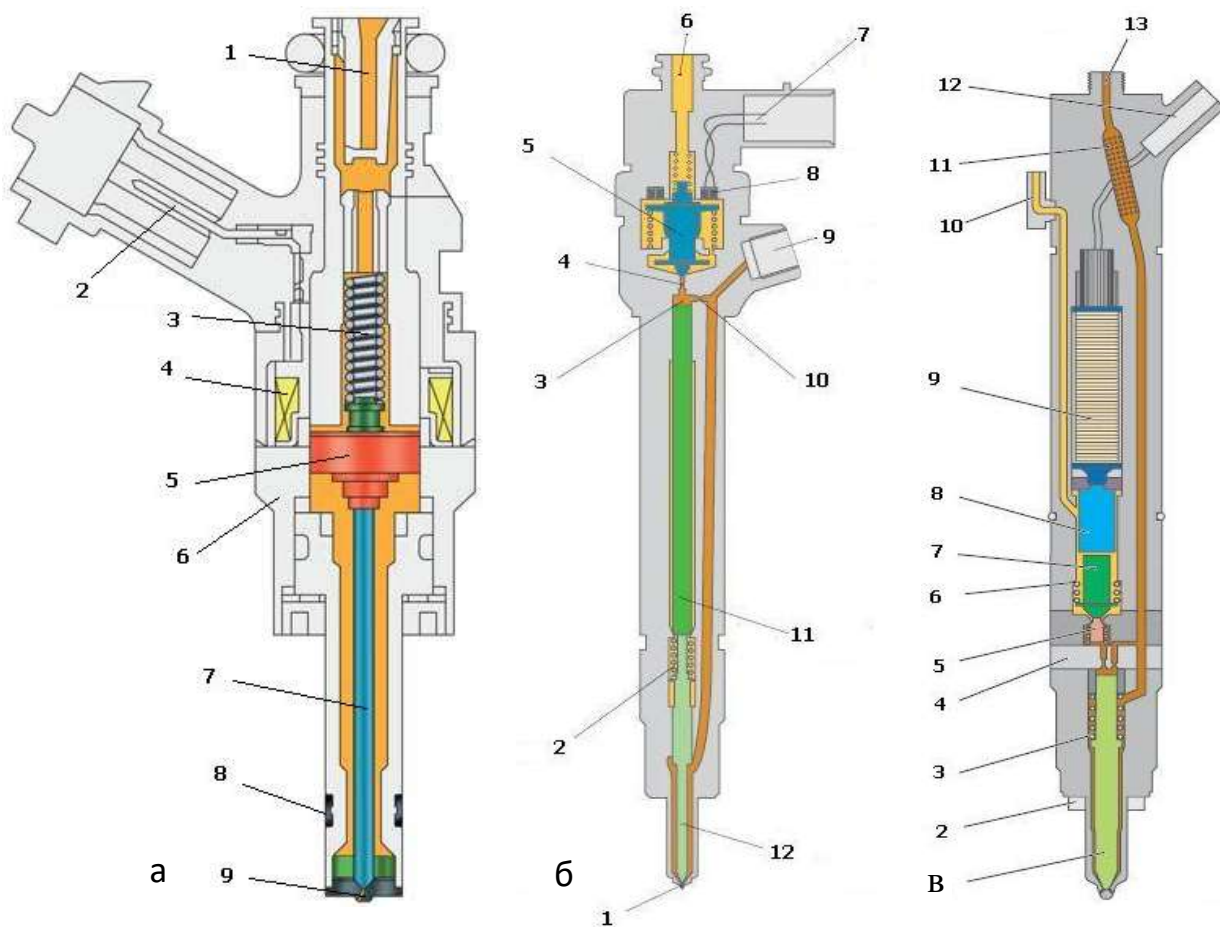


Рис. 2.6. Устрій паливних форсунок дизельних ДВЗ:
а – електромагнітна; б – електрогідравлічна; в – п'єзoeлектрична

Електромагнітна сила, створена обмоткою 4 (з роз'ємом підключення 2), долаючи зусилля пружини 3, втягує якор 5 з голкою і звільняє сопло 9. Відбувається впорскування палива. При відключенні обмотки, пружина повертає голку форсунки 7 в початковий стан, перекриваючи подачу палива. У паливному каналі форсунки передбачений сітчастий фільтр 1, а в погрузній частині корпусу 6 передбачено ущільнення 8.

Електрогідравлічна форсунка використовується на дизельних двигунах, обладнаних системою впорскування СР. Конструкція форсунки поєднує

електромагнітний клапан, камеру керування 3, впускний 10 і зливний 4 дроселі (рис. 2.6, б). Принцип побудови заснований на використанні тиску палива при його вприскуванні і відсіченні. У знеструмленому стані обмотки 8 з роз'ємом 7 голка форсунки 12 під дією тиску палива на поршень 11 в камері керування 3 притиснута до сидла 1, клапан закритий. При цьому, тиск палива на голку через різницю площ контакту менше тиску на поршень. Спрацьовування електромагніту підіймає запірний якір 5, відчиняючи зливний дросель 4 в каналі підведення палива 9. Паливо з камери керування надходить через дросель 4 в зливну магістраль 6. При цьому, впускний дросель перешкоджає швидкому вирівнюванню тиску в камері керування і впускній магістралі. Тиск на поршень знижується, а тиск палива на голку не змінюється. Під дією цього перепаду голка підіймається і відбувається вприскування палива.

П'єзоелектрична форсунка (ПЕФ) встановлюється на дизельних двигунах, обладнаних системою вприскування CR. Принцип дії форсунки побудований на використанні зворотного п'єзоефекту (деформація кристала при підведенні напруги до його граней). Завдяки швидкодії (в 4 рази швидше ніж електромагнітні) такі форсунки дозволяють забезпечити багаторазове вприскування за один робочий цикл і точне дозування палива. Конструкція п'єзоелектричної форсунки включає набір п'єзоелементів 9 з роз'ємом підключення 12, штовхач 8, що перемикає клапан 5 з повертаючою пружиною 6 і клапану голку 1 з притисною пружиною 3, встановлених в корпусі з ущільненням 2 (рис. 2.6, в).

В роботі ПЕФ, також використовується гідравлічний принцип. Паливо подається в нагнітальний канал 13 через сітчастий фільтр 11. У початковому положенні голка 1 посаджена на сидло за рахунок високого тиску палива. При подачі електричного сигналу на п'єзоелементи 9, збільшується їх довжина, передаючи зусилля на штовхач 8 і поршень клапана 7. Це викликає відкриття перемикаючого клапана 5 і паливо надходить в зливну магістраль 10, тиск над голкою падає. Голка за рахунок тиску в нижній частині піднімається і відбувається вприскування палива. Тиск перемикає балансуються блоком дроселів 4. Кількість палива, що вприскується, визначається тривалістю впливу електричного сигналу на п'єзоелемент і тиском палива в паливній рампі.

Рядні ПНВТ типу PE бувають з електричним керуванням рейкою подачі палива і, додатково з втулкою керування моментом вприскування. У першому варіанті, циклова подача палива визначається положенням рейки ПНВТ, яка жорстко пов'язана з якорем лінійного електромагніту. Змінюючи силу струму в ланцюзі електромагніту (ШІМ-регулювання), ЕБК задає переміщення рейки і відповідно кількість палива, що вприскується. Зусилля електромагніту врівноважується дією повертаючої пружини. У ПНВТ також вбудовані індукційний датчик частоти обертання і датчик положення рейки. У другому варіанті, кут випередження вприскування задається за допомогою електромагнітного поворотного механізму шляхом регулювання закриття випускного отвору втулкою в плунжерній парі.

Загальний вигляд рядного ПНВТ з електронним керуванням циклової подачі палива і кутом випередження впорскування, показаний на рис. 2.7.

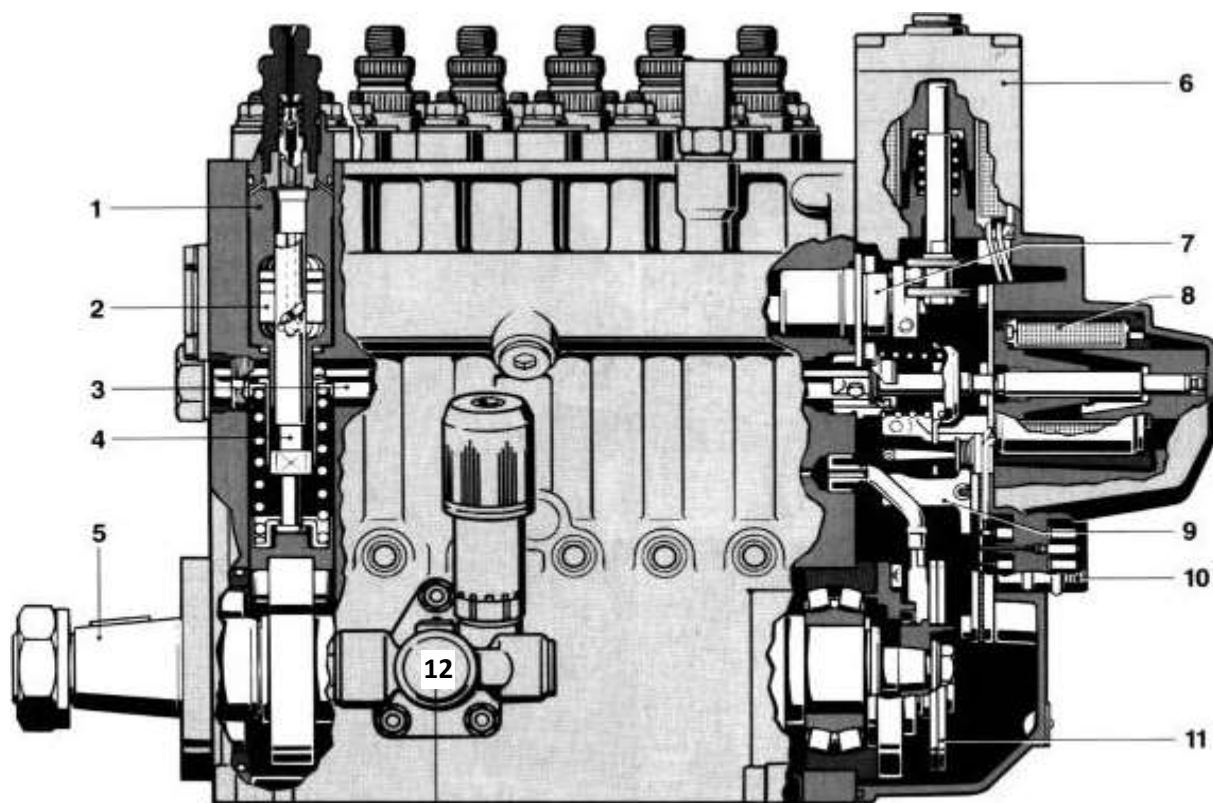


Рис. 2.7. Рядний ПНВТ з електронним керуванням: 1 – гільза; 2 – втулка керування кутом випередження; 3 – рейка подачі палива; 4 – плунжер; 5 – кулачковий вал; 6 – електромагнітний привід валу керування регулюючою втулкою; 7 – вал механізму керування; 8 – обмотка електромагнітного регулятора кількості палива; 9 – датчик положення паливної рейки; 10 – вилкове з'єднання; 11 – зубчастий диск; 12 – насос підкачки палива

Регулювання циклової подачі палива здійснюється рейкою керування 3. Якір електромагнітного регулятора приєднаний до рейки 3. На обмотку регулятора 8 подається ШІМ-сигнал, шпаруватість якого (середнє значення сили струму) визначається на підставі інформації з вхідних датчиків: температури двигуна, частоти обертання валу насоса, положення педалі керування рейкою (акселератора) і ін. При відключенні обмотки 8, пружина повертає рейку в положення зупинки двигуна і припиняє подачу палива. Диск 11 на валу 5 активізує інкрементний датчик (індукційний або Холла) частоти обертання ПНВТ.

Якір електромагнітного приводу 6, долаючи опір пружини, втягується в котушку електромагніту, повертаючи вал керування регулюючої втулкою 7, який пов'язаний з втулкою керування 2. При цьому, втулка змінює своє положення уздовж плунжера. При знеструмленні обмотки приводу 6, вал під впливом пружини переводить втулки в верхнє положення (пізнє впорскування). Початок подачі може бути встановлений при зміні положення втулок в межах до 40 ° повороту КВ.

Сигнал датчика положення рейки 9, крім зворотного зв'язку системи відслідковування акселератора, використовується для суміжних систем автомобіля: перемикання передач АКП; керування тиском надування; вимірювання витрати палива; рециркуляції ВГ.

Датчик 9 являє трансформатор, коефіцієнт передачі напруги в якому, визначається положенням паливної рейки (рис. 2.8).

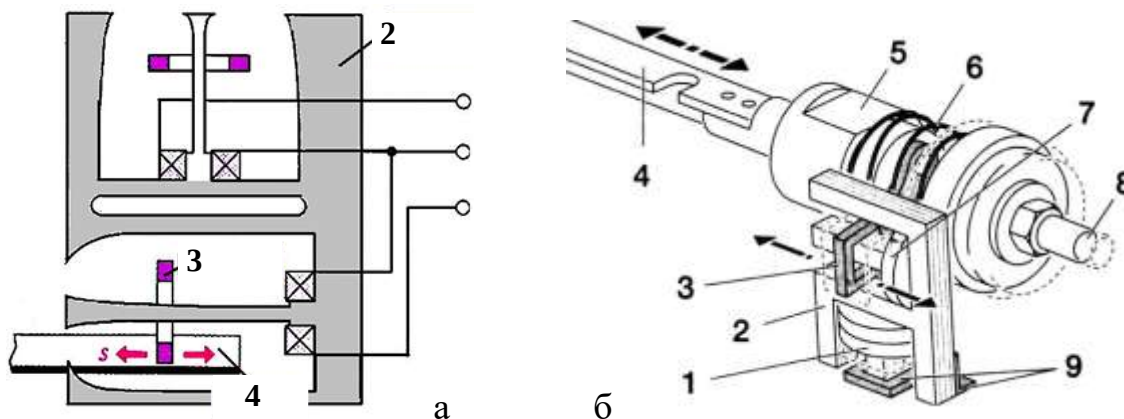


Рис. 2.8. Датчик положення рейки: а – схема побудови; б – конструкція;
1 – задаюча котушка; 2 – сердечник; 3 – короткозамкнений рухливий контур; 4 – паливна рейка; 5 – лиска; 6 – повертаюча пружина; 7 – вимірювальна котушка; 8 – магнітопровід; 9 – нерухомий контур

Датчик складається з складеного ансамблю з рухомим контуром 3 і двох котушок 1 і 7, що розглядаються як первинна та вторинна обмотки трансформатора. Котушка 7 живиться змінною напругою постійної амплітуди з частотою 10 кГц. Контур 3 переміщається спільно з рейкою 4, змінюючи коефіцієнт трансформації пропорційно ходу рейки з точністю 0,2 мм.

Розподільні насоси VE типу спочатку керувалися механічними регуляторами (рис. 2.9). В статорній частині приводу встановлено кільце з роликками і штоком приводу автомата випередження впорскування палива 18. Поступальний рух забезпечується кулачковим диском 17, а обертальний – валом 21. Автомат випередження впорскування палива 16 в механічних ПНВТ являє гідравлічний пристрій, робота якого визначається тиском палива у внутрішній порожнині ПНВТ, що створюється паливним насосом низького тиску 20 зі зворотним клапаном 22. У насосі типу VE з електронним керуванням реалізація керуючих впливів здійснюється за допомогою електричних виконавчих пристроїв – поворотного електромагнітного приводу з обмоткою 6, дозуючою муфтою 5 і гідроелектричним приводом 4 роликового кільця 9 з електроклапаном 2 (рис. 2.10).

Паливо по впускному трубопроводі 10 надходить в насос низького тиску 1 з редуційним клапаном 8, клапан 2 і компенсуючу камеру гідроциліндра регулятора випередження впорскування 4. Після насоса 1 паливо під тиском підкачки, через дозатор 5 заповнює плунжерну камеру високого тиску, і через жиклер 3, - робочу камеру циліндра 4.

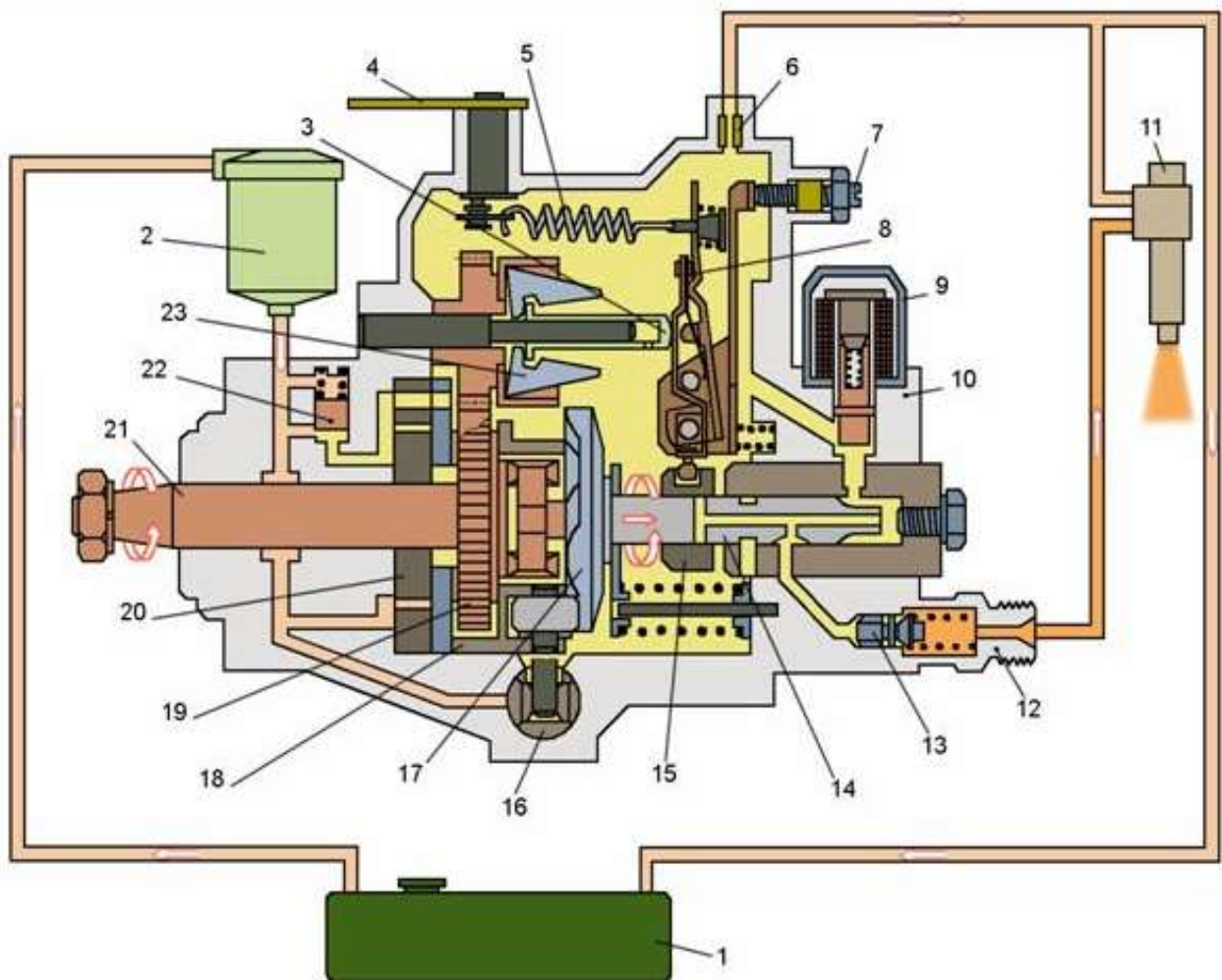


Рис. 2.9. Устрій базового розподільного насоса типу VE: 1 – паливний бак; 2 – паливний фільтр; 3 – муфта регулятора; 4 – важіль керування подачею палива; 5 – пружина регулятора; 6 – зливний дросель; 7 – регулювальний гвинт; 8 – регулятор частоти обертання; 9 – запірний ЕК; 10 – розподільна головка; 11 – форсунка; 12 – штуцер; 13 – нагнітальний клапан; 14 – плунжер; 15 – дозуюча муфта; 16 – гідравлічний автомат випередження впорскування; 17 – кулачковий диск; 18 – роликів кільце; 19 – шестерня приводу автомата випередження впорскування; 20 – ротор насоса підкачки палива; 21 – вал приводу; 22 – зворотний клапан; 23 – важки відцентрового регулятора

Процес нагнітання і розподілу високого тиску по циліндрах 12, реалізується аналогічно попередньому варіанту із застосуванням кулачкового диска 7. Надлишок палива направляється в зливну магістраль 11. Керування електромагнітним поворотним дозатором палива 13 здійснюється по командам від ЕБК. По колу 15 виконується керування моментом впорскування. Привод 6 керується на замовлення водія через педаль (датчик положення акселератора) і контролюється датчиком 14. Шунтувальний клапан 8 підтримує рівень тиску підкачки палива. Клапан 2 працює в ШІМ-режимі, модулюючи тиск в циліндрі автомата випередження 4. Шпаруватість імпульсів керування клапаном 2 визначається ЕБК залежно від швидкісного режиму і температурного стану двигуна.

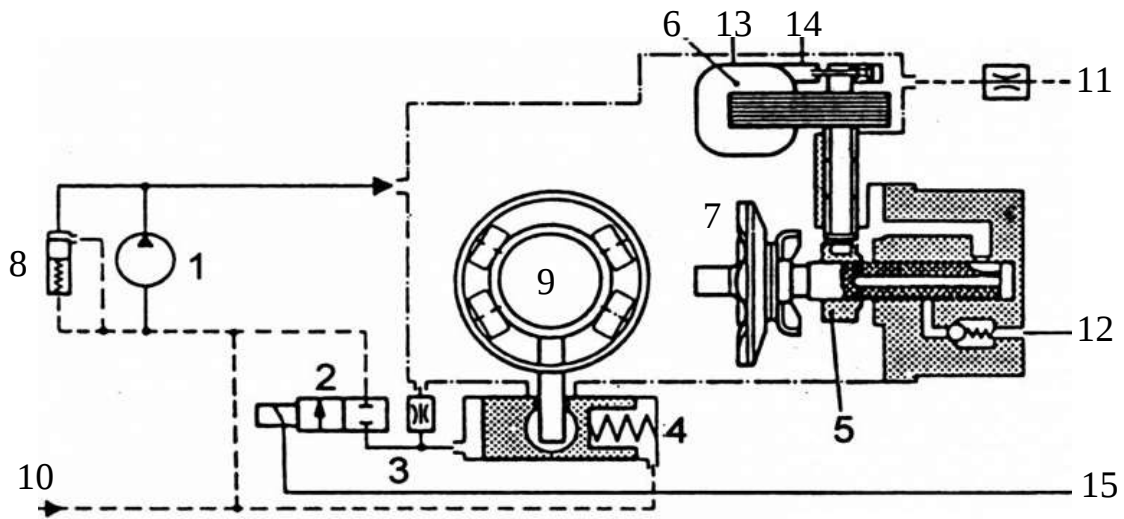


Рис. 2.10. Схема одноплунжерного VE насоса з електронним керуванням:

- 1 – насос підкачки палива; 2 – ЕК керування автоматом випередження впорскування;
 3 – жиклер; 4 – циліндр автомата випередження впорскування; 5 – дозатор;
 6 – електромагнітний пристрій зміни подачі палива; 7 – кулачковий диск приводу плунжера високого тиску; 8 – обмежуючий клапан; 9 – роликіве кільце; 10 – подача палива;
 11 – повернення палива; 12 – подача палива до форсунки; 13 – привід дозатора палива;
 14 – датчик положення валу дозатора; 15 – коло керування ЕК регулятора випередження впорскування

Для визначення моменту початку впорскування, одна з форсунок має індукційний датчик підйому голки. У якості виконавчих механізмів для реалізації керуючих впливів на дозуючу муфту 5, в ПНВТ застосовуються пропорційні електромагнітні, моментні, лінійні або крокові електродвигуни.

У роторних ПНВТ розподільного типу VP паливо в корпус насоса подається лопатковим паливним насосом низького тиску. Насос високого тиску з кулачковим кільцем та двома трьома або чотирма радіально розташованими плунжерами, забезпечує формування високого тиску і розподілення палива по форсунках. Кількість палива дозується електромагнітним клапаном високого тиску. Автомат випередження регулює момент впорскування, обертаючи кулачкове кільце в потрібному напрямку. Як і в ПНВТ з аксіальним плунжером і з електромагнітним керуванням дозуючим клапаном, всі сигнали зі зворотнім та без зворотного зв'язку обробляються в двох ЕБК.

Тиск палива, що створюється на стороні нагнітання, залежить від частоти обертання колеса насоса. Клапан регулювання тиску 5 з'єднується з відповідним пазом зливної магістралі 6 (рис. 2.11). У контур високого тиску входять насосні секції 14, вузол розподілення і дозування палива 13 з електромагнітним клапаном високого тиску 9.

Магістральні ПНВТ застосовуються в акумуляторних паливних системах типу CR де процеси створення високого тиску і впорскування – розділені. Тиск впорскування створюється незалежно від частоти обертання двигуна і кількості впорскуваного палива. Паливо під тиском зберігається в паливному акумуляторі і система, таким чином, завжди готова до впорскування [37] (рис. 2.12).

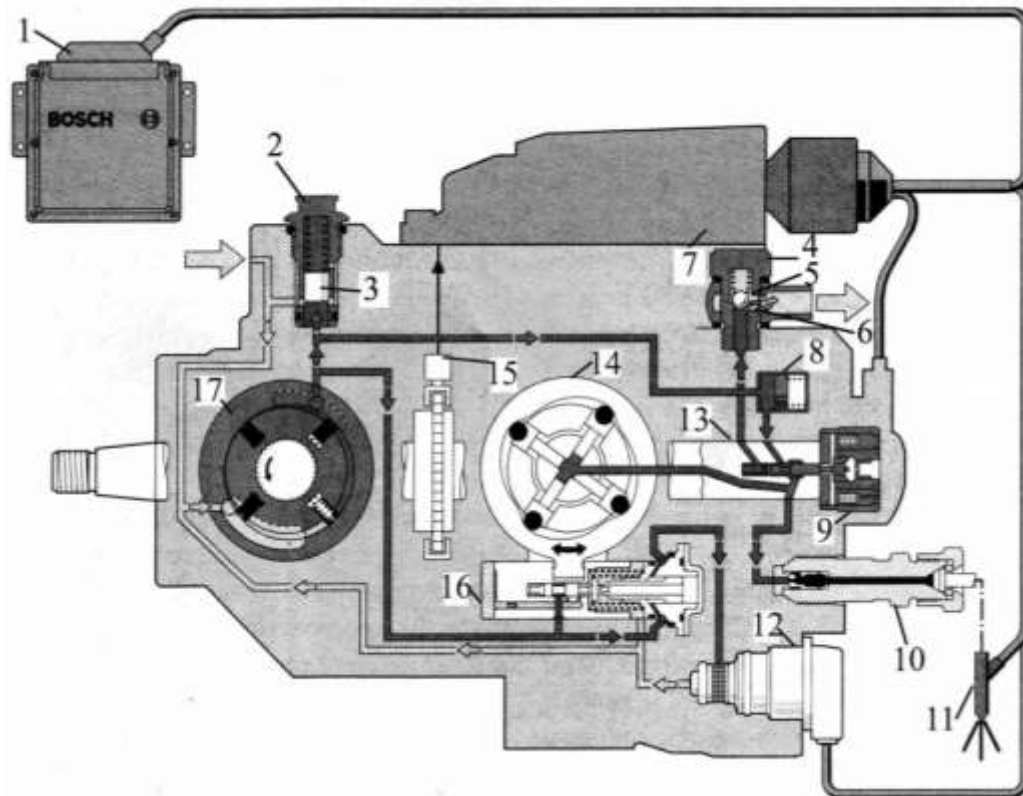


Рис. 2.11. Гідравлічна схема ПНВТ VP-44: 1 – ЕБК дизеля; 2 – клапан регулювання тиску; 3 – поршень клапана регулювання тиску; 4 – клапан дроселювання перепуску; 5 – відвідний канал; 6 – дросель; 7 – ЕБК насоса; 8 – поршневий демпфер; 9 – електромагнітний клапан дозатора палива; 10 – нагнітальний клапан; 11 – форсунка; 12 – електромагнітний клапан встановлення моменту початку вприскування; 13 – ротор-розподільник; 14 – насосна секція ПНВТ з радіальним рухом плунжерів; 15 – датчик кута повороту приводного валу ПНВТ; 16 – пристрій випередження вприскування; 17 – насос підкачки палива

Для підтримки заданого тиску вприскування використовується редукційний клапан, який може встановлюватися в контурі низького тиску (*регулятор потоку* 8 на рис. 2.12) або в контурі високого тиску (*регулятор тиску* 8 на рис. 2.13, а). В другому випадку, ЕК розміщується або в структурі ПНВТ, або в структурі паливного акумулятора. Редукційний клапан незалежно від міста розташування, керується ШІМ-сигналом. Високий тиск на виході магістрального ПНВТ, залежно від модифікації насоса, може утворюватися паралельною або послідовною дією плунжерних секцій. В останньому випадку, для керування продуктивністю насоса, в окремій секції високого тиску передбачається ЕК відключення плунжерної пари. Для підкачки палива в контурі низького тиску використовуються насоси з механічним приводом (окремий чи вмонтований) або електричний погрузний або і перше і друге разом.

Індивідуальні одноплунжерні ПНВТ (UPS – Unit Pump System) у своїй структурі мають керуючий ЕК. Такі насоси встановлюються на кожен циліндр двигуна [38]. З'єднання паливного каналу високого тиску з гідравлічною форсункою закритого типу здійснюється за допомогою короткої трубки (рис. 2.14).

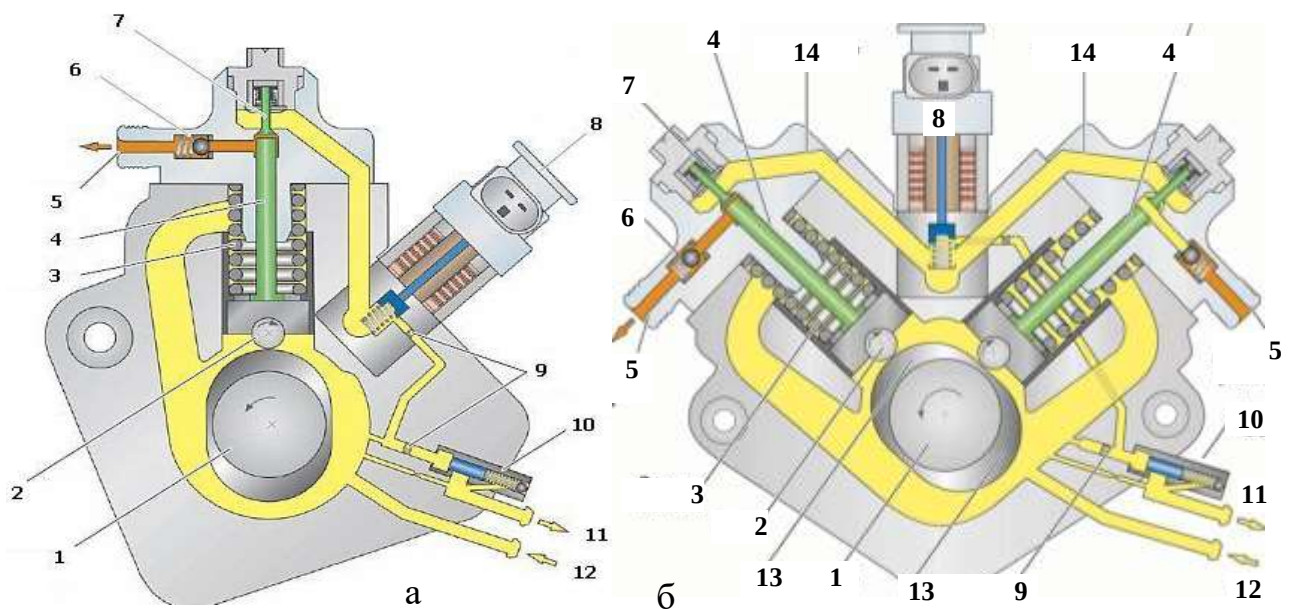


Рис. 2.12. Гідравлічні схеми магістральних ПНВТ:

а – одноплунжерний; б – двух-плунжерний;

- 1 – приводний вал; 2 – ролик; 3 – пружина плунжера; 4 – плунжер; 5 – штуцер до паливної рампи; 6 – випускний клапан; 7 – впускний клапан; 8 – редукційний клапан; 9 – фільтр тонкого очищення; 10 – перепускний клапан; 11 – злив палива; 12 – подача палива; 13 – кулачки; 14 – впускні канали

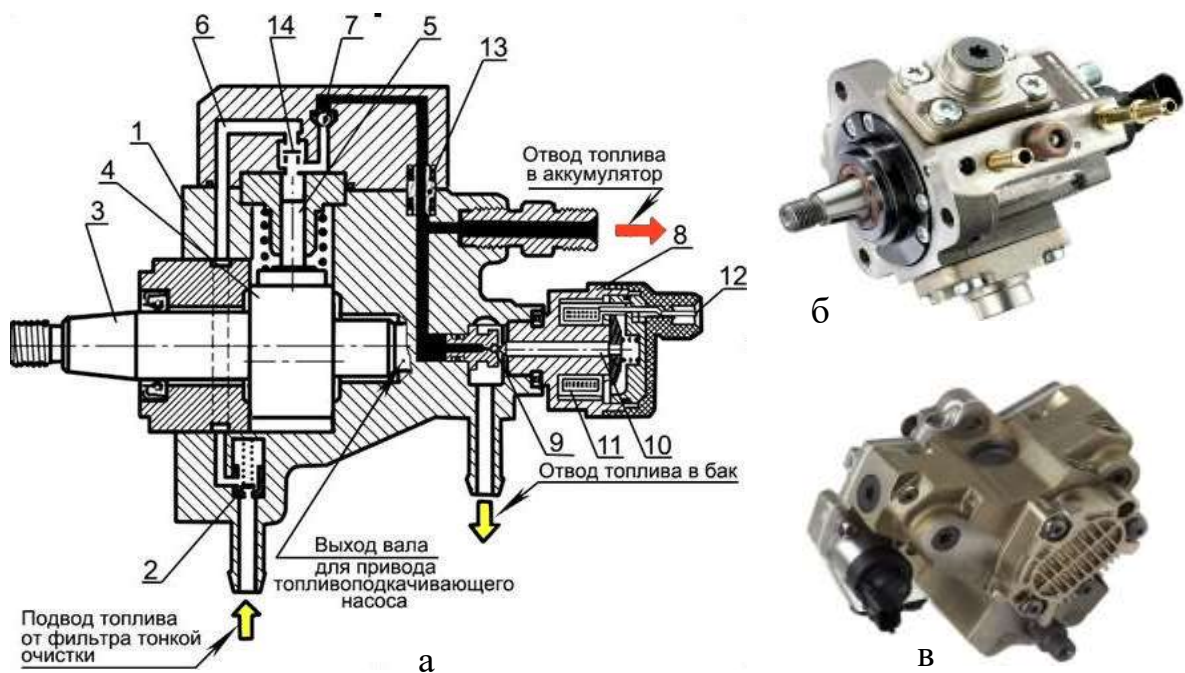


Рис. 2.13. Устрій трьох-плунжерних магістральних ПНВТ:

а, б – з вбудованим регулятором тиску; в – з вбудованим регулятором потоку і насосом низького тиску;

- 1 – корпус; 2 – дренажний клапан з дроселем; 3 – вал приводу; 4 – кулачок; 5 – плунжер; 6 – канал підводу палива; 7 – випускний клапан високого тиску; 8 – редукційний клапан; 9 – кульковий клапан; 10 – якір ЕК; 11 – обмотка ЕК; 12 – електричне рознімання; 13 – ущільнювач; 14 – зворотний клапан низького тиску

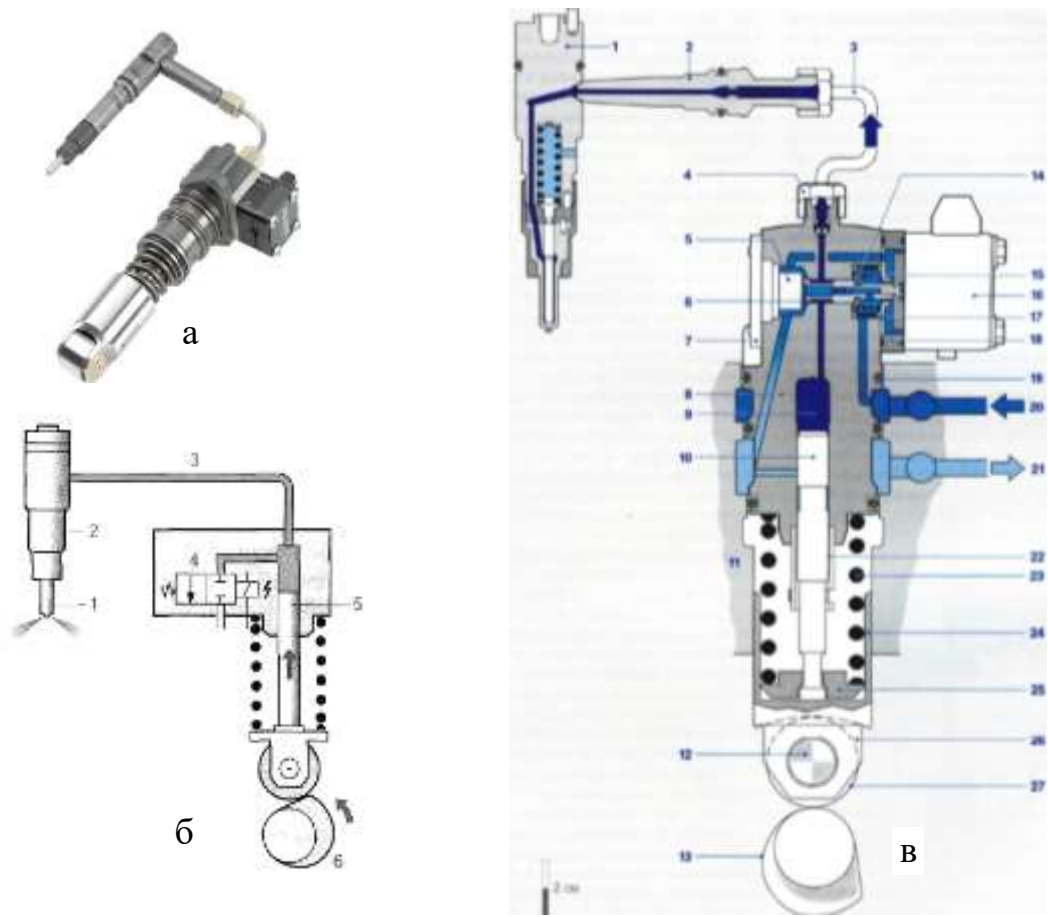


Рис. 2.14. Індивідуальний ПНВТ: а – зовнішній вигляд; б – схема пристрою: 1 – сопло форсунки; 2 – форсунка; 3 – трубка підведення високого тиску; 4 – ЕК подачі палива в циліндр високого тиску; 5 – плунжер; 6 – кулачок РВ;

в – деталіровка: 1 – форсунка; 2 – штуцер трубопроводу високого тиску; 3 – трубопровід високого тиску; 4 – гайка під'єднання трубопроводу, 5 – упор, 6 – голка ЕК, 7 – пластина; 8 – корпус ПНВТ; 9 – камера високого тиску; 10 – плунжер; 11 – блок циліндрів; 12 – вісь ролика штовхача; 13 – кулачок, 14 – сидло пружини, 15 – пружина ЕК; 16 – корпус ЕК; 17 – пластина якоря; 18 – проміжна пластина; 19 – кільце ущільнювача; 20 – вхід палива; 21 – повернення палива; 22 – ущільнювальний поясок плунжера; 23 – пружина штовхача; 24 – корпус штовхача; 25 – сидло пружини; 26 – роликовий штовхач; 27 – ролик штовхача

Привід індивідуальних ПНВТ здійснюється від розподільного вала двигуна. Керування продуктивністю і моментом початку впорскування в паливній системі з індивідуальними ПНВТ здійснюється системою електронного керування.

Одноплунжерні ПНВТ, скомпоновані в *насос-форсунки* (UIS – Unit Injector System), встановлюються в головці блоку циліндрів, окремо для кожного циліндра і приводяться в дію або безпосередньо кулачком, або від розподільного вала через штовхач клапана. На відміну від рядних насосів і ПНВТ розподільного типу насос-форсунки не мають магістралей високого тиску і дозволяють отримати більш високий тиск впорскування. Робота паливних систем з и насос-форсунками можна розділити на чотири робочі стадії [39] (рис. 2.15).

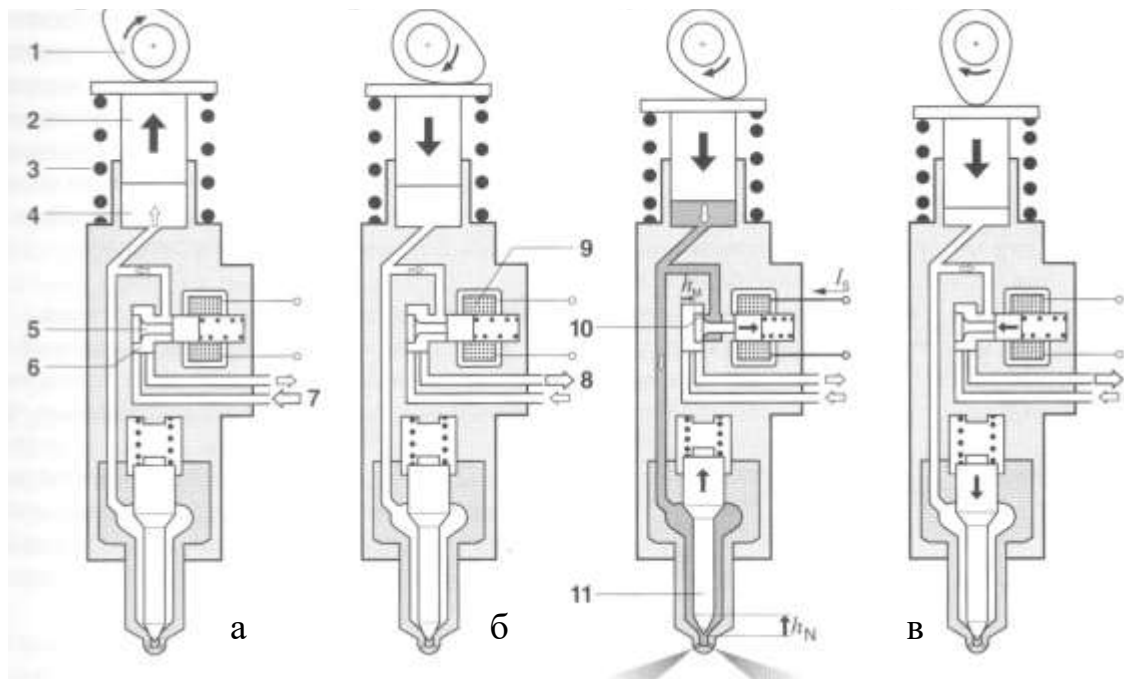


Рис. 2.15. Фази робочого циклу насос-форсунки:
а – хід впуску; б – попередній хід; в – робочий та заключний хід

Повертаюча пружина 3 переміщує плунжер 2 вгору. Паливо, що постійно знаходиться під тиском, поступає із ступеня низького тиску в камеру 6 ЕК через отвори в блоці циліндрів двигуна і впускний канал 7. Кулачок 1, продовжуючи повертатися, примушує плунжер переміщуватися вниз. ЕК відкритий на стільки, що плунжер може виштовхувати паливо через канал повернення 8 в ступінь низького тиску. Робочий цикл насос-форсунки можна ілюструвати діаграмами по куту повернення колінчастого валу (рис. 2.16).

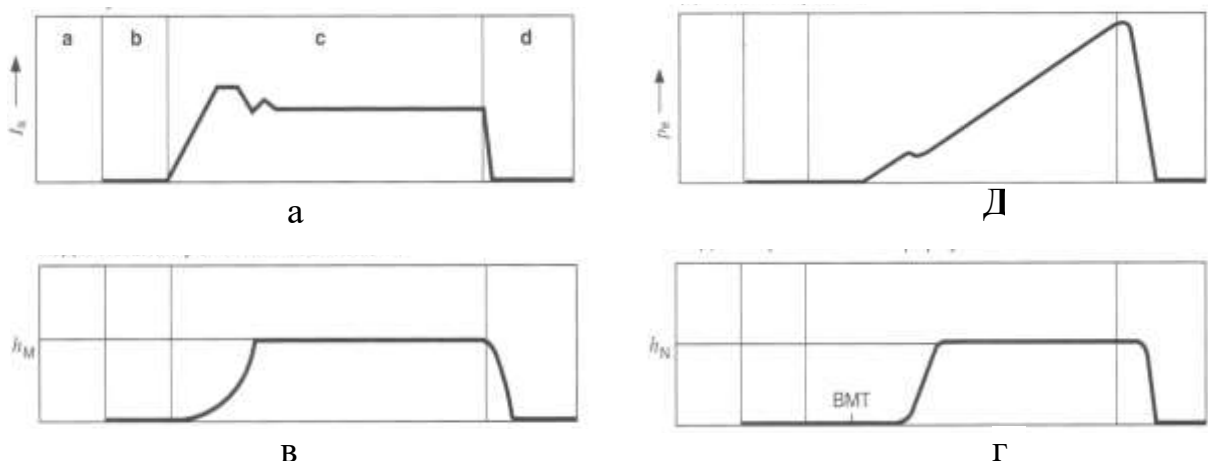


Рис. 2.16. Діаграми робочого процесу насос-форсунки: а – струм котушки; б – тиск вприскування; в – хід голки ЕК; г – хід голки розпилювача форсунки

На момент робочого ходу ЕБК видає пусковий сигнал на ЕК 9, при цьому, голка клапану сідає на сидло 10 і з'єднання між камерою високого тиску і ступенем низького тиску припиняється. Цей момент означає «електричний початок вприскування», або геометричний початок подачі. Закриття ЕК, тобто

посадка його голки на сідло, викликає зміну струму в котушці ЕК. Це сприймається ЕБК як сигнал дійсного початку впорскування палива і означає розрахунок подальшого процесу впорскування.

Подальший рух плунжера вниз викликає підвищення тиску палива в камері високого тиску, а також підвищення тиску в розпилювачі. Як тільки тиск в розпилювачі досягає величини, що відповідає тиску початку підйому голки форсунки, голка 11 піднімається з сідла і паливо впорскується в камеру згоряння двигуна. Оскільки при русі плунжера забезпечується максимальна подача палива, тиск палива продовжує збільшуватися протягом всього періоду впорскування. Як тільки котушка ЕК знеструмлюється, клапан після короткої затримки відчиняється і відкриває з'єднання між камерою високого тиску і ступенем низького тиску. Максимальний тиск впорскування палива досягається під час перехідної фази між ходом впорскування і заключним ходом. Як тільки ЕК відкривається, тиск швидко падає і коли стає нижче тиску посадки голки форсунки на сідло, соплові отвори розпилювача закриваються і процес впорскування припиняється. Зайве паливо, виштовхується в ступінь низького тиску через канал повернення палива.

Для досягнення максимально можливої плавності протікання процесу згоряння перед основним впорскуванням здійснюється *попередній впорскування* малої кількості палива під невеликим тиском. Внаслідок цього, досягається зниження шумності процесу згоряння і зменшення емісії оксидів азоту. Функціонування насос-форсунки з попереднім впорском продемонстровано на рис. 2.17.

При заповненні камери високого тиску, плунжер під дією пружини рухається вгору, що веде до збільшення об'єму камери (рис. 2.17, а). ЕК знеструмлено, голка клапана знаходиться в положенні, що відкриває шлях паливу з живильної магістралі в камеру високого тиску.

На початку попереднього впорскування кулачок РВ через коромисло підтискає плунжер донизу; плунжер, в свою чергу, віджимає паливо з камери високого тиску в живильну магістраль (рис. 2.17, б). За сигналом від ЕБК голка ЕК притискається до сідла, перекриваючи шлях паливу з камери високого тиску в живильну магістраль. Внаслідок цього, відбувається підвищення тиску в камері. Коли тиск досягає заданого значення (180 бар), пружина розпилювача стискається, голка розпилювача підіймається, і починається попередній впориск.

У процесі попереднього впорскування, хід голки розпилювача демпфується гідравлічним буфером, що дає можливість точно дозувати кількість палива, що впорскується (рис. 2.17, в). Це відбувається наступним чином. На першій третині ходу ніщо не заважає ходу голки. При цьому, в камеру згоряння попередньо впорскується паливо. Як тільки демпферний клапан 16 почне переміщатися з свердління корпусу розпилювача, паливо над голкою розпилювача зможе надходити під тиском в зону розміщення пружини тільки через зазор знизу демпферного клапана. Внаслідок цього, виникає гідравлічний буфер, який обмежує хід голки розпилювача при попередньому впорскуванні.

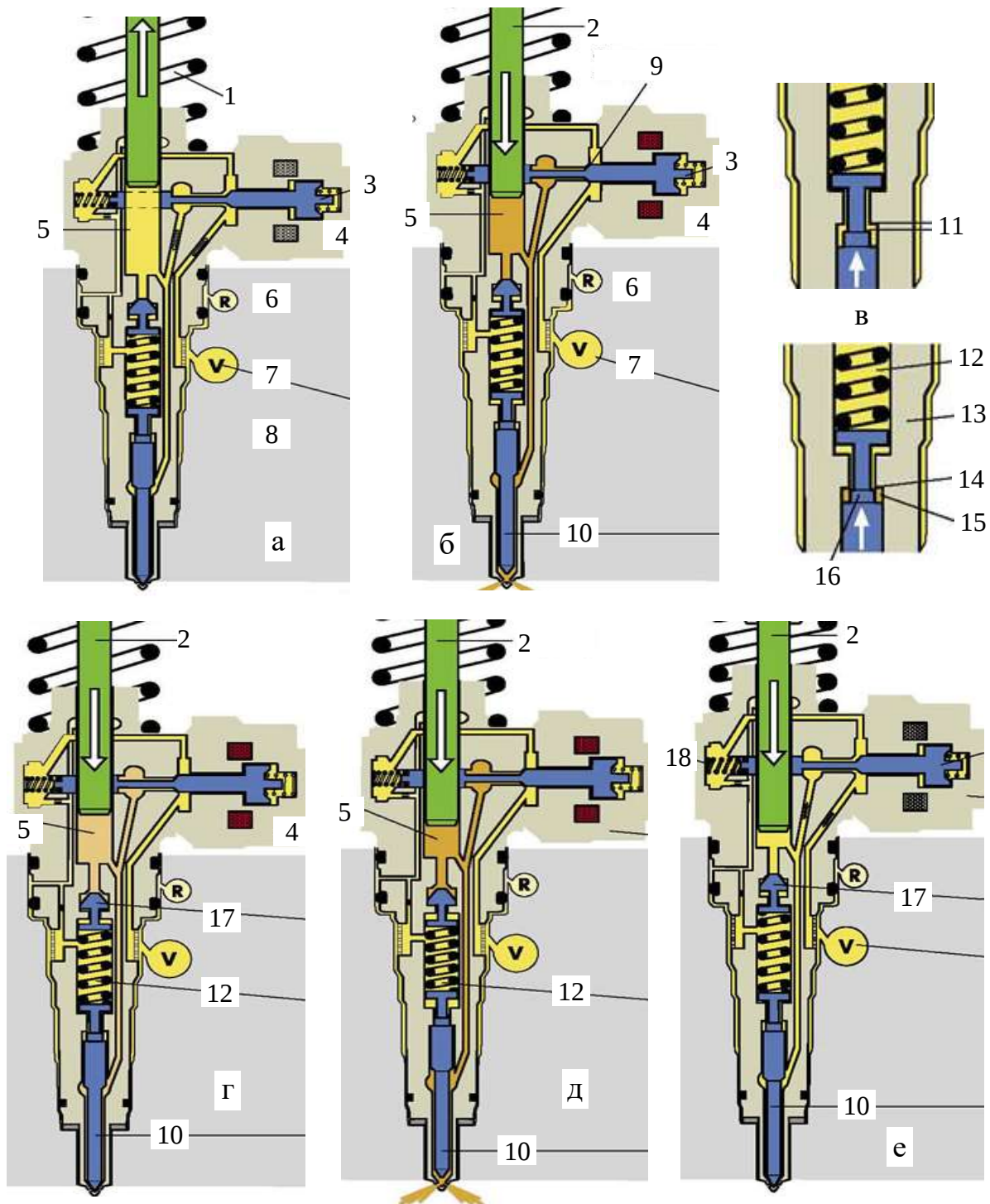


Рис. 2.17. Робочий цикл гідроелектричної насос-форсунки з механічним приводом:

а – заповнення камери високого тиску; б – початок попереднього впорскування;

в – демпфірування ходу голки розпилювача; г – кінець попереднього впорскування;

д – початок основного впорскування; е – кінець основного впорскування.

1 – пружина плунжера; 2 – плунжер, 3 – голка ЕК; 4 – корпус ЕК; 5 – камера високого тиску, 6 – зливна магістраль, 7 – магістраль живлення, 8 – голівка блоку циліндрів, 9 – сидло голки ЕК, 10 – голка розпилювача, 11 – хід голки розпилювача без демпфірування, 12 – зона пружини розпилювача, 13 – корпус розпилювача, 14 – перепускний зазор, 15 – гідравлічний буфер, 16 – амортизаційний клапан, 17 – перепускний клапан, 18 – пружина ЕК

Безпосередньо після відкриття голки форсунки закінчується попередній впрыск (рис. 2.17, г). Під дією зростаючого тиску, перепускний клапан 17 рухається донизу, тим самим, збільшуючи об'єм камери високого тиску. Внаслідок цього, тиск на короткий час падає, і форсунка зачиняється, а пружина розпилювача стискається сильніше.

Після посадки голки, тиск в камері високого тиску знову підіймається. ЕК закритий, і поршень насос-форсунки рухається вниз (рис. 2.17, д). Коли тиск досягає 300 бар, долається зусилля пружини розпилювача. Голка знову піднімається, і в камеру згоряння впрыскується основна доза палива. Тиск при цьому, піднімається до 2050 бар.

Кінець впрыскування настає, коли з блоку ЕБК перестає надходити сигнал на ЕК. При цьому, голка клапана під дією пружини відходить від сідла, і стискає плунжером паливо, яке може надходити в живильну магістраль (рис. 2.17, е). Тиск палива падає, голка зачиняє сопло, і перепускний клапан під дією пружини повертається у вихідне положення.

П'єзоелектричні насос-форсунки з механічним приводом функціонують аналогічним чином (рис. 2.18).

На рис. 2.18 позначені позиції: 1 - кулачок приводу насос-форсунки; 2 – роликове коромисло; 3 – пружина плунжера; 4 – важільний мультиплікатор; 5 – п'єзоелектричний клапан (ПЕК); 6 – порожнина високого тиску; 7 – магістраль зливу палива; 8 – магістраль підведення палива; 9 – голка розпилювача; 10 – запірний поршень; 11 – пружина форсунки; 12 – зворотний клапан; 13 – голка ЕК; 14 – плунжер; 15 – демпфуючий об'єм над голкою; 16 – дросель в каналі підведення палива; 17 – канал підведення палива в порожнину високого тиску.

Підйом плунжера відбувається під дією пружини. При цьому, порожнина під плунжером заповнюється паливом, що надходить через відкритий ПЕК з магістралі підведення 8 (рис. 2.18, а).

При переміщенні плунжера вниз, паливо що витісняється, перетікає в канали низького тиску до тих пір, поки не закриється ПЕК і тиск палива в порожнині під плунжером почне швидко зростати долаючи зусилля пружини 11. В результаті, голка 9 підіймається і починається впрыскування запальної дози палива (рис. 2.18, б). При цьому, рух голки демпфується паливом, яке витісняється з об'єму 15.

Впрыскування запальної дози палива закінчується після відкриття ПЕК і зниження тиску під плунжером в результаті зливу палива в магістраль 8. Голка розпилювача опускається на сідло під дією пружини і підтримує тиск палива, яке надходить в порожнину пружини форсунки через зворотний клапан 12 (рис. 2.18, в). Цей тиск створюється дроселем 16, встановленим у внутрішньому каналі підведення палива. Тиск палива в порожнині пружини передається за допомогою запірного поршня 10 на голку розпилювача і прискорює її посадку. Залежно від режиму роботи двигуна ЕБК може ініціювати впрыскування однієї або двох запальних доз палива.

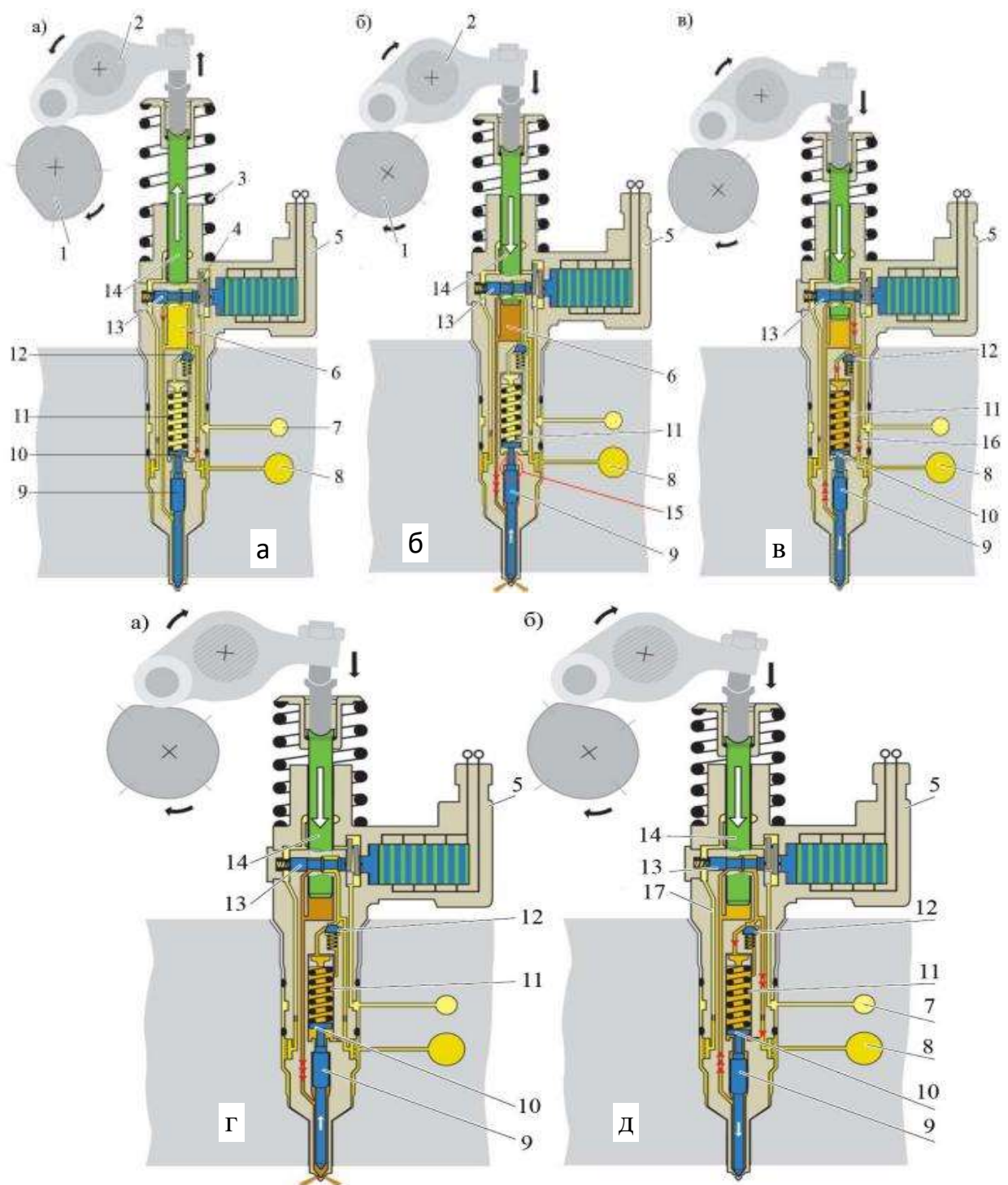


Рис. 2.18. Функціонування п'єзоелектричної насос-форсунки:

а – процес наповнення порожнини під плунжером; б – початок вприскування запальної дози;
 в – завершення вприскування запальної дози; г – початок вприскування основної дози;
 д – завершення вприскування основної дози

Вприскування основної дози палива відбувається при подальшому русі плунжера вниз. Після посадки голки ПЕК на сидло і вприскування запальної дози палива, починається підвищення тиску в розпилювачі. Цей тиск утримується завдяки зворотному клапану 12 і діє на запірний поршень форсунки 10

(рис. 2.18, г). Максимальний тиск впорскування 2200 кгс/см^2 досягається на режимі максимальної потужності. Впорскування основної дози палива закінчується внаслідок відкриття ПЕК. Як і при закінченні впорскування запальної дози, тиск палива знижується в результаті його зливу в канал підводу палива і в порожнину пружини форсунки. Посадка голки розпилювача на сідло проводиться під сумарною дією пружини і запірнього поршня (рис. 2.18, д). Процес впорскування додаткового палива практично не відрізняється від процесу впорскування основної дози палива, але характеризується істотно меншими тиском і кількістю палива, що впорскується, через меншу тривалість його подачі.

В насос-форсунках з гідравлічним приводом замість кулачка працює масло із системи змащення двигуна, що подається по окремій магістралі під тиском понад 230 кгс/см^2 . Тиск масла діє на масляний плунжер, який переміщує плунжер паливний. Завдяки різниці діаметрів плунжерів створюється високий тиск впорскування палива (завбільшки 1400 кгс/см^2). Електромагнітний клапан, керуючий впорскуванням, розташований не в паливному, а в масляному каналі. При цьому, він знаходиться під традиційним для гідросистем тиском. Тиск в масляній магістралі створюється спеціальним насосом.

У системах HAEUI (Hydraulically Actuated Electronically controlled Unit Injection) застосовуються насос-форсунки з гідравлічним приводом плунжера і електромагнітним керуванням подачею палива різних поколінь [40]. Насос-форсунки першого покоління, містять розпилювач з голчастим клапаном і гідравлічний мультиплікатор тиску, що складається з гідравлічного поршня, який приводить в дію поршень подачі палива (рис. 2.19 а, б).

Подача масла в порожнину гідравлічного циліндра здійснюється через тарільчастий клапан, який може мати горизонтальне (рис. 2.19, а) або вертикальне (рис. 2.19, б) розташування. Відкриття клапанів здійснюється соленоїдом, за сигналами від ЕБК, а закриття – пружиною, що повертає. Притиснення клапана до сідла відбувається під дією тиску в масляній магістралі. У відкритому стані клапан сполучає порожнину високого тиску з порожниною гідравлічного циліндра, а в закритому – своїм розвантажувальним пристроєм сполучає порожнину гідроциліндра із зливною магістраллю. Розвантажувальний пристрій може бути виконаний у вигляді циліндричного золотника (рис. 2.19, а) або запірнього конуса (рис. 2.19, б). Для швидкої роботи ЕК в потужних ДВЗ потрібні значні струми споживання соленоїда (створення тягових зусиль). Тому, в подальших розробках, використовувалися золотникові бістабільні клапани (рис. 2.19, в). В цьому випадку, відкриття і закриття ЕК здійснюється за допомогою двох соленоїдів. При цьому, всі осьові сили, що діють на золотник, врівноважують один одного, тому золотник може перебувати в будь-якому положенні, зберігаючи його навіть після припинення дії на нього сили, що переміщує. Це дає ряд переваг в організації подачі палива. По-перше, зменшуються габарити соленоїда і збільшується швидкість спрацьовування клапана.

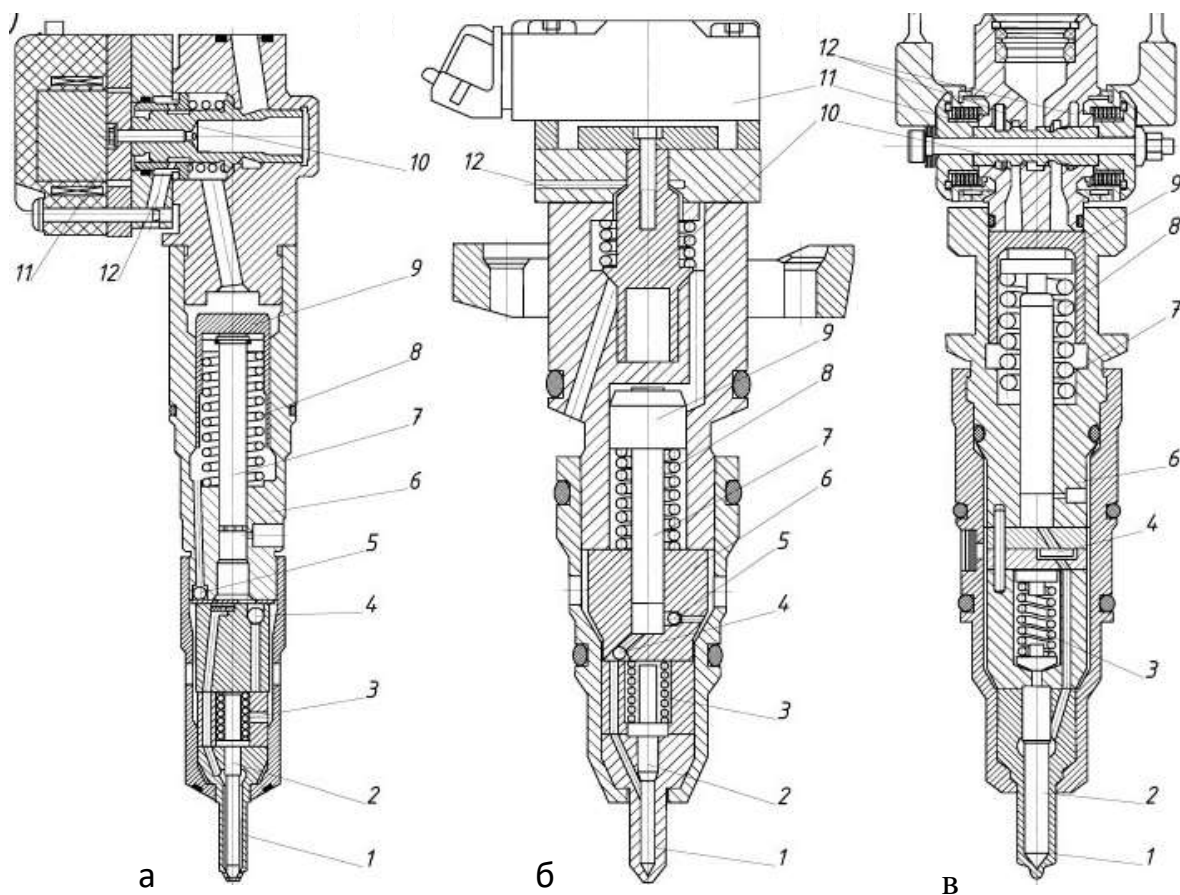


Рис. 2.19. Електромагнітні насос-форсунки з гідравлічним приводом:
 а – з боковим керуючим клапаном; б – з осьовим керуючим клапаном;
 в – з бістабільним керуючим клапаном; 1 – корпус розпилювача; 2 – голчастий клапан розпилювача; 3 – пружина голчастого клапана; 4 – наповнення з клапан; 5 – зворотний клапан; 6 – втулка плунжера; 7 – плунжер; 8 – поворотна пружина; 9 – гідравлічний поршень приводу плунжера; 10 – клапан керування; 11 – котушка керуючого ЕК; 12 – зливна магістраль

По-друге, час проходження струму через котушку зводиться до мінімуму, а сила струмів під час керуючого імпульсу може досягати досить високих значень без перегріву обмотки соленоїда.

Незалежно від покоління розробки, у всіх насос-форсунок даного класу, після відкриття керуючого клапана, масло з керуючої магістралі надходить в порожнину гідравлічного циліндра, змушуючи поршень переміщатися вниз. При цьому, плунжер, жорстко з'єднаний з поршнем, витісняє паливо із підплунжерної порожнини через зворотний клапан в розпилювач. Оскільки площа плунжера в кілька разів менше площі гідравлічного поршня, тиск в підплунжерній порожнині зростає до 170...210 МПа. У міру зростання тиску в порожнині розпилювача, паливо відкриває голчастий клапан, долаючи зусилля стиснення пружини, і паливо вприскується в камеру згоряння. Для підведення палива і керуючого масла до насос-форсунок використовуються порожнини в головці блоку циліндрів.

У гідроприводі системи НАЕUI використовуються масляні аксіально-плунжерні насоси керуючого тиску МНВТ з регулюванням продуктивності.

Для стабілізації характеристики гідроприводу також використовується регулятор тиску керуючого масла (редукційний золотниковий ЕК), який встановлюється прямо в масляній магістралі МНВТ.

2.3. Устрій паливних систем

Розрізняють паливні системи з груповим (рядні і розподільчі ПНВТ) та індивідуальним (індивідуальні ПНВТ, керовані форсунки і насос-форсунки) керуванням впорскуванням палива.

Комплектація системи керування подачею палива і впорскування для однотипних ПНВТ може бути різною, і відрізнятися переліком датчиків залежно від моделі дизельного ДВЗ, виробника паливної апаратури, наявності інших електронних систем на автомобілі. Далі розглянемо окремі варіанти систем керування подачею і впорскуванням палива різних типів.

Паливна система з рядним ПНВТ включає гідравлічні компоненти: паливний бак; насос підкачки палива; паливний фільтр; рядний ПНВТ; форсунки; паливні магістралі. Оскільки в системі використовуються механічні форсунки і вал ПНВТ жорстко пов'язаний з коленвалом ДВЗ, всі керуючі впливи реалізуються в структурі ПНВТ за сигналами з ЕБК (рис. 2.20).

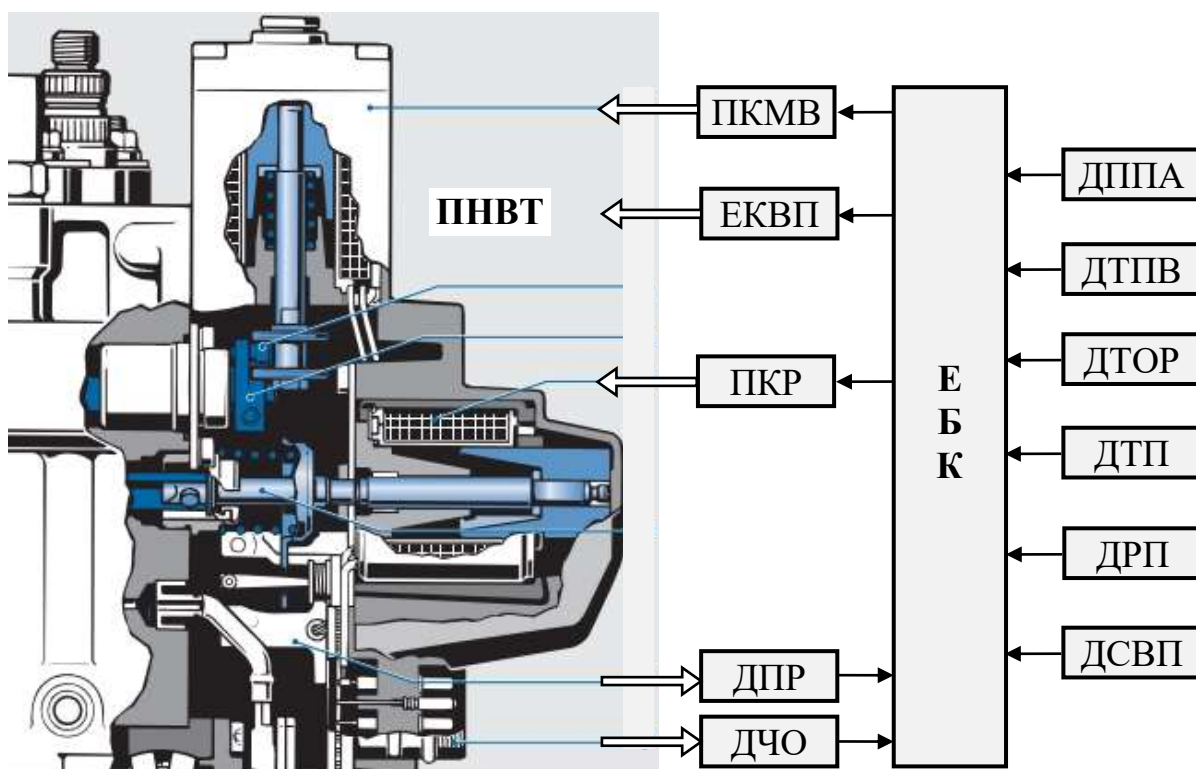


Рис. 2.20. Схема електронного регулювання подачі палива в рядному ПНВТ

Електронний блок ЕБК сприймає входні сигнали з інформаційних датчиків: температури повітря ДТПВ, палива ДТП і охолоджуючої рідини ДТОР; тиску (розрядження) повітря на вході ДРП; частоти обертання насоса ДЧО; положення рейки ДПР; положення педалі акселератора ДППА.

Для синхронізації впорскування палива (зворотний зв'язок по ДСВП) в циліндри можуть використовуватися сигнали оригінальних (переміщення голки першої форсунки) або традиційних датчиків, розташованих на двигуні (початку відліку, положення КВ).

У пам'яті ЕБК записані характеристичні карти керування подачею палива для режимів пуску, ХХ і робочих навантажень. На підставі отриманої інформації ЕБК формує сигнали керування клапаном відсічення палива ЕКВП в магістралі підкачки, приводами керування рейкою ПКР і моментом впорскування ПКМВ.

Основними елементами системи подачі палива з розподільним ПНВТ VE-типу є привод керування дозуючої муфтою ПКДМ і моментом впорскування ПКМВ (рис. 2.21).

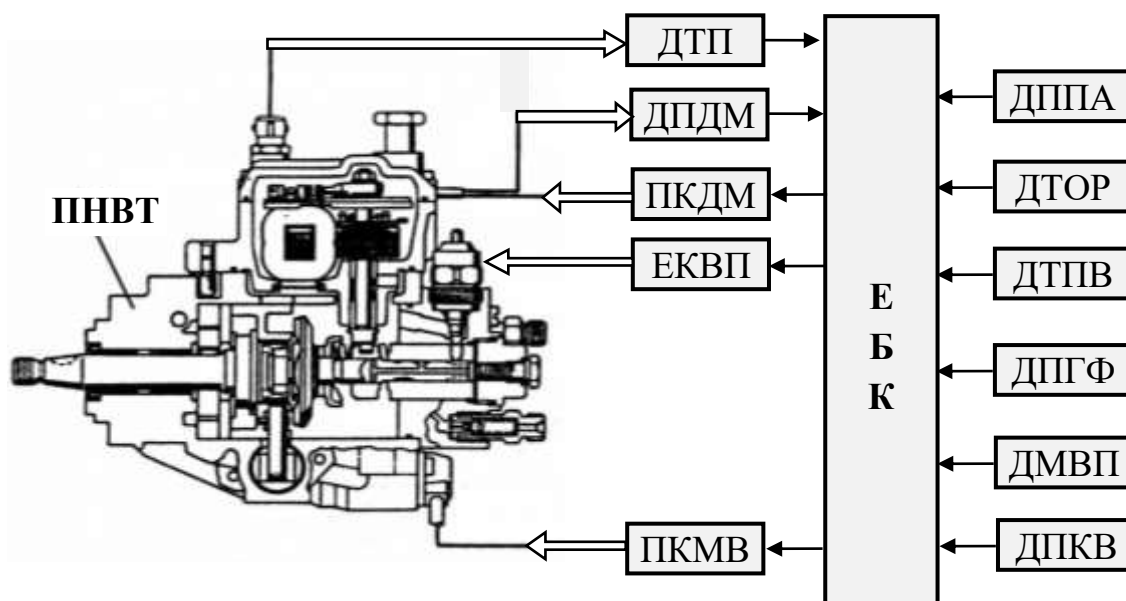


Рис. 2.21. Схема електронного регулювання подачі палива в розподільному ПНВТ VE-типу

На відміну від схеми керування рядним ПНВТ (рис. 2.20) в структуру представленої системи керування входять:

- датчик положення голки форсунки першого циліндра (індукційний в конструкції механічної форсунки) ДПГФ як ДСВП;
- датчик положення коленвала ДПКВ як ДЧО;
- датчик витрати повітря або масметр ДМВП замість ДРПВ;
- датчик положення дозуючої муфти ДПДМ замість ДПР;

На відміну від схеми керування розподільним насосом VE-типу, в системі керування з насосом VP-типу може використовуватися окремий електронний блок керування ПНВТ (БКН). У цьому випадку, на БКН надходить інформація з датчиків, розташованих на двигуні (по CAN-шині даних) і з датчика кута повороту приводного валу ДППВ в структурі ПНВТ. Крім того, в структурі ПНВТ відсутній ЕКВП. Його функції передані ЕК дозатора палива ЕКДП.

В системі з індивідуальними ПНВТ (UPS – Unit Pump System) кожний ПНВТ 3 закріплюється з боку блоку циліндрів і приводиться до дії спеціальним кулачком, який розташований на розподільному валу 4 двигуна [38] (рис. 2.22).

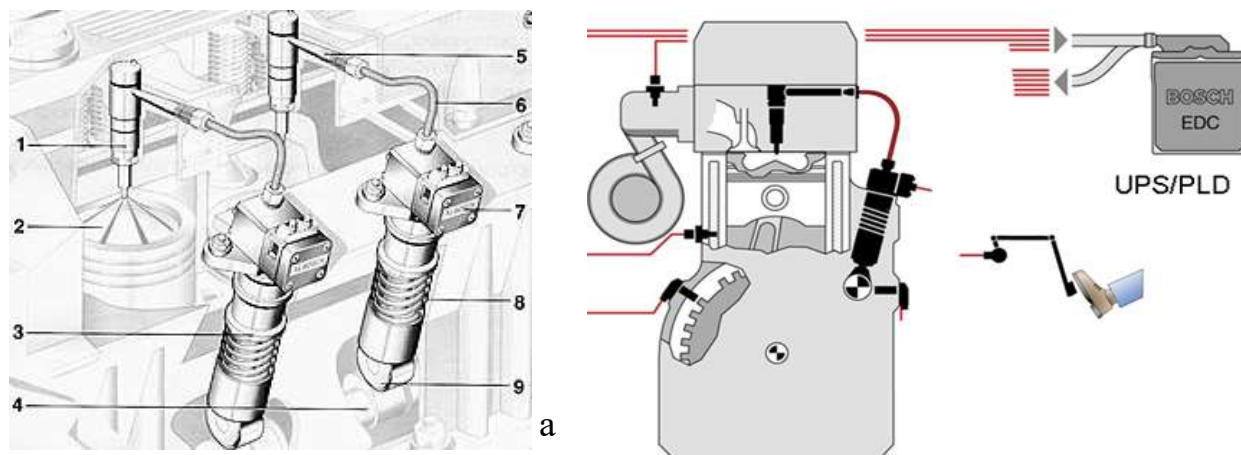


Рис. 2.22. Розташування індивідуальних ПНВТ на ДВЗ:

а – компоновка; б – схема розміщення;

1 – форсунка; 2 – камера згоряння; 3 – індивідуальний ПНВТ; 4 – розподільний вал; 5 – штуцери магістралі високого тиску; 6 – магістраль високого тиску; 7 – електромагнітний клапан високого тиску; 8 – протидіюча пружина; 9 – роликовий штовхач

Зв'язок з плунжером насосу здійснюється через роликовий штовхач 9 з використанням протидіючої пружини 8. Така компоновка має наступні переваги: не треба змінювати конструкцію існуючої головки блоку циліндрів; жорсткий привід без застосування коромисел; простота ремонтних операцій. Індивідуальні ПНВТ мають досить короткі трубопроводи високого тиску однакової довжини, що дозволяє витримувати високочастотні коливання тиску.

Момент подачі пускового сигналу на ЕК (момент закриття) відповідає початку подачі палива. Тривалість подачі пускового сигналу визначає величину циклової подачі палива. Момент та тривалість пускового сигналу визначаються ЕБК у відповідності з характеристичними картами. При цьому, використовується інформація з датчиків: ДПКВ; ДПРВ; ДППА; тиску повітря на впуск; температури повітря на впуск, охолоджуючої рідини та палива в магістралі низького тиску.

У електромеханічній системі з насос-форсунками (UIS – Unit Injector System) одноплунжерні ПНВТ, конструктивно об'єднані з електромагнітними або п'єзоелектричними форсунками, встановлюються в головці блоку циліндрів окремо для кожного циліндра і приводяться в дію або безпосередньо кулачком, або від РВ через штовхач клапана [39] (рис. 2.23).

На відміну від систем подачі палива з рядними, розподільними і індивідуальними ПНВТ в системі з насос-форсунками відсутні магістралі високого тиску, що дозволяє отримати більш високий тиск впорскування і в поєднанні з електронним керуванням забезпечується зниження шкідливої емісії ВГ.

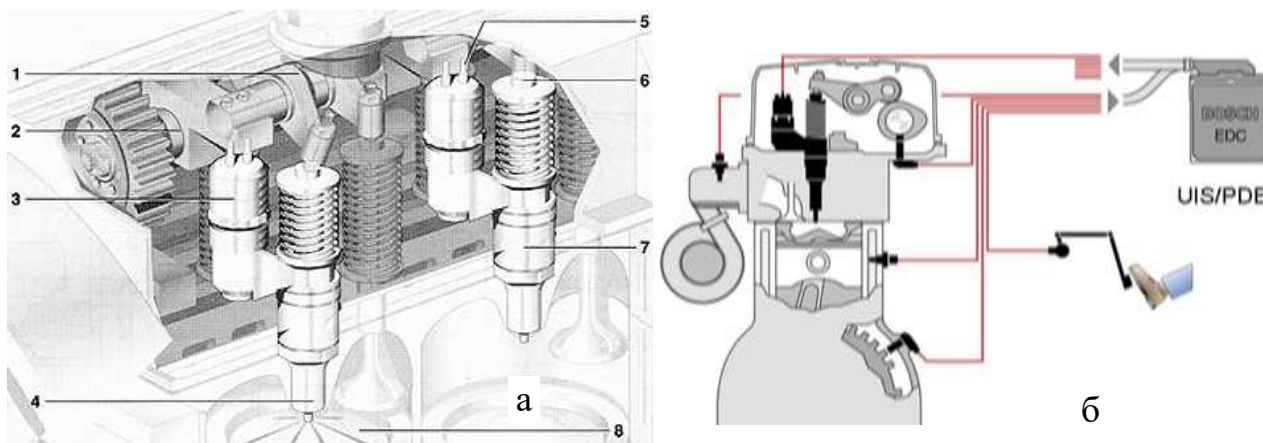


Рис. 2.23. Розташування паливних насос-форсунок на ДВЗ:

а – компоновка; б – схема розміщення;

1 – коромисло; 2 – розподільний вал; 3 – електромагнітний клапан форсунки;
4 – розпилювач; 5 - виводи підключення обмотки клапана; 6 – плунжер; 7 – корпус;
8 – камера згоряння двигуна

Функціонування системи UIS аналогічно системі UPS. Схеми паливного контуру систем UIS і UPS мають схожу конфігурацію (рис. 2.24).

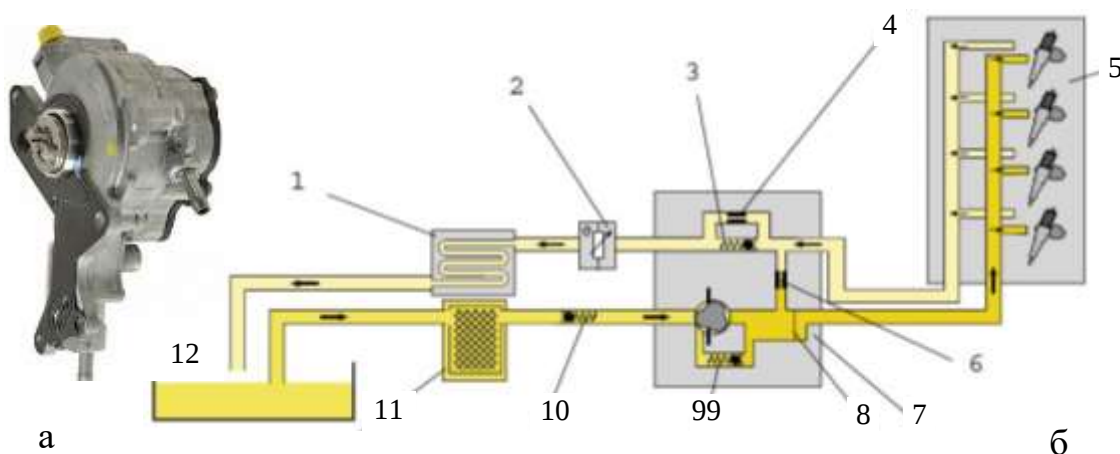


Рис. 2.24. Устрій паливного контуру насос-форсунок:

а – зовнішній вигляд насоса подачі палива; б – схема гідравлічна

Паливо засмоктується механічним паливним насосом 7 через фільтр 11 з паливного бака 12 і подається по магістралі живлення в голівці блоку 5 до насос-форсунок. Надмірне паливо зливається назад в паливний бак аналогічним способом з контролем температури палива (датчик 2) і його охолодженням 1. Обмежувальний клапан 3 підтримує тиск в зливній магістралі, забезпечуючи сталість тиску палива на голці клапана форсунки. Байпас 4 служить для видалення повітря з паливної системи. Через дросельний отвір 6 відводяться пари палива, які можуть бути в магістралі живлення. Сітка-фільтр 8 вловлює бульбашки повітря і газу в магістралі живлення. Обмежувальний клапан 9 регулює тиск палива в магістралі живлення. Зворотний клапан 10 запобігає злив палива від паливного насоса в паливний бак при зупинці двигуна.

В системі *HEUI* (Hydraulically actuated Electronically controlled Unit Injection) насос-форсунок активізуються гідравлічним приводом (без кулачкового валу). Система має два незалежних контури: паливний і масляний. По паливному контуру, паливо під насосним тиском 0,2...0,55 МПа подається до насос-форсунок по каналах, виконаним у вигляді свердловин в голівці блоку циліндрів [40]. Залишки невикористаного палива через дросельний клапан зливаються назад в видаткову ємність 1 (рис. 2.25).

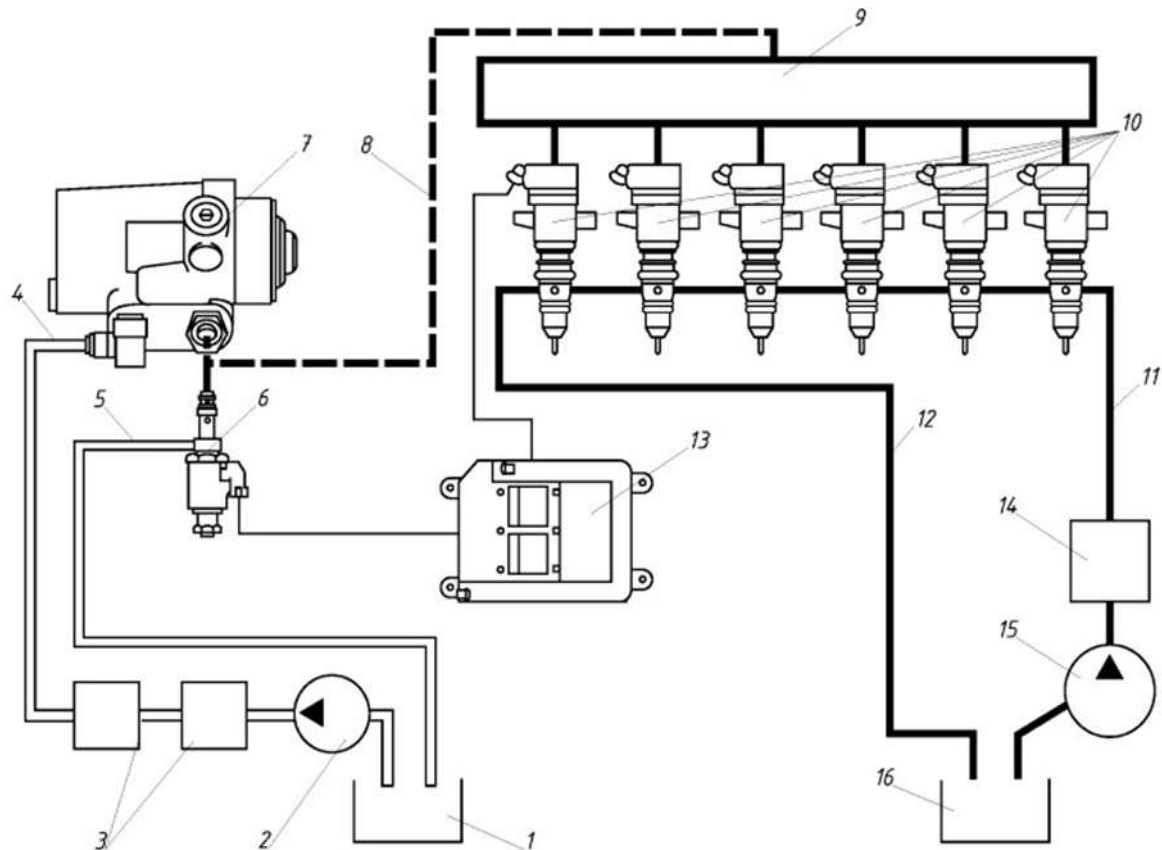


Рис. 2.25. Схема гідроелектричної паливної системи HEUI:

- 1 – бак для масла; 2 – насос підкачки масла; 3 – масляний фільтр; 4 – магістраль забору масла;
 5 – магістраль зливу масла; 6 – клапан регулювання тиску в системі гідроприводу;
 7 – масляний насос високого тиску; 8 – масляна магістраль високого тиску; 9 – акумулятор тиску масла;
 10 – насос-форсунки з гідроприводом; 11 – магістраль підведення палива;
 12 – магістраль зливу палива; 13 – ЕБК; 14 – паливний фільтр; 15 – насос підкачки палива;
 16 – паливний бак

Масляний контур складається з ліній низького 4 і високого 8 тиску. Лінія низького тиску служить для очищення, охолодження та подачі керуючого масла з ємності для його зберігання 1 до масляного насоса високого тиску 7. Контур високого тиску складається з підвідних трубопроводів, регулятора тиску масла 6, різних датчиків контролю і акумулятора тиску 9, з яким насос-форсунки 10 з'єднуються за допомогою сполучних трубопроводів. Тиск, під яким масло підводиться до насос-форсунок, знаходиться в межах 27...30 МПа.

Унікальні характеристики системи дозволяють забезпечити постійний тиск впорскування близько 210 МПа (не залежно від числа обертів двигуна) і реалізувати пілотне (попереднє) впорскування палива.

В паливній системі Bosch CR (Common Rail) створення тиску і безпосередній процес впорскування повністю розділені. Високий тиск створюється незалежно від частоти обертання КВ двигуна і кількості палива, що впорскується. Паливо під робочим тиском акумулюється в загальній рампі. Циклова подача палива визначається дією водія, а кут випередження і тиск впорскування регулюються ЕБК на основі характеристичних карт, які зберігаються в пам'яті мікропроцесора. Акумуляторна система CR включає в себе елементи електронного керування: електронний блок керування ЕБК; датчики режимних параметрів ДВЗ; електронну педаль акселератора; електромагнітні виконавчі пристрої в різних комплектаціях [41] (рис. 2.26).

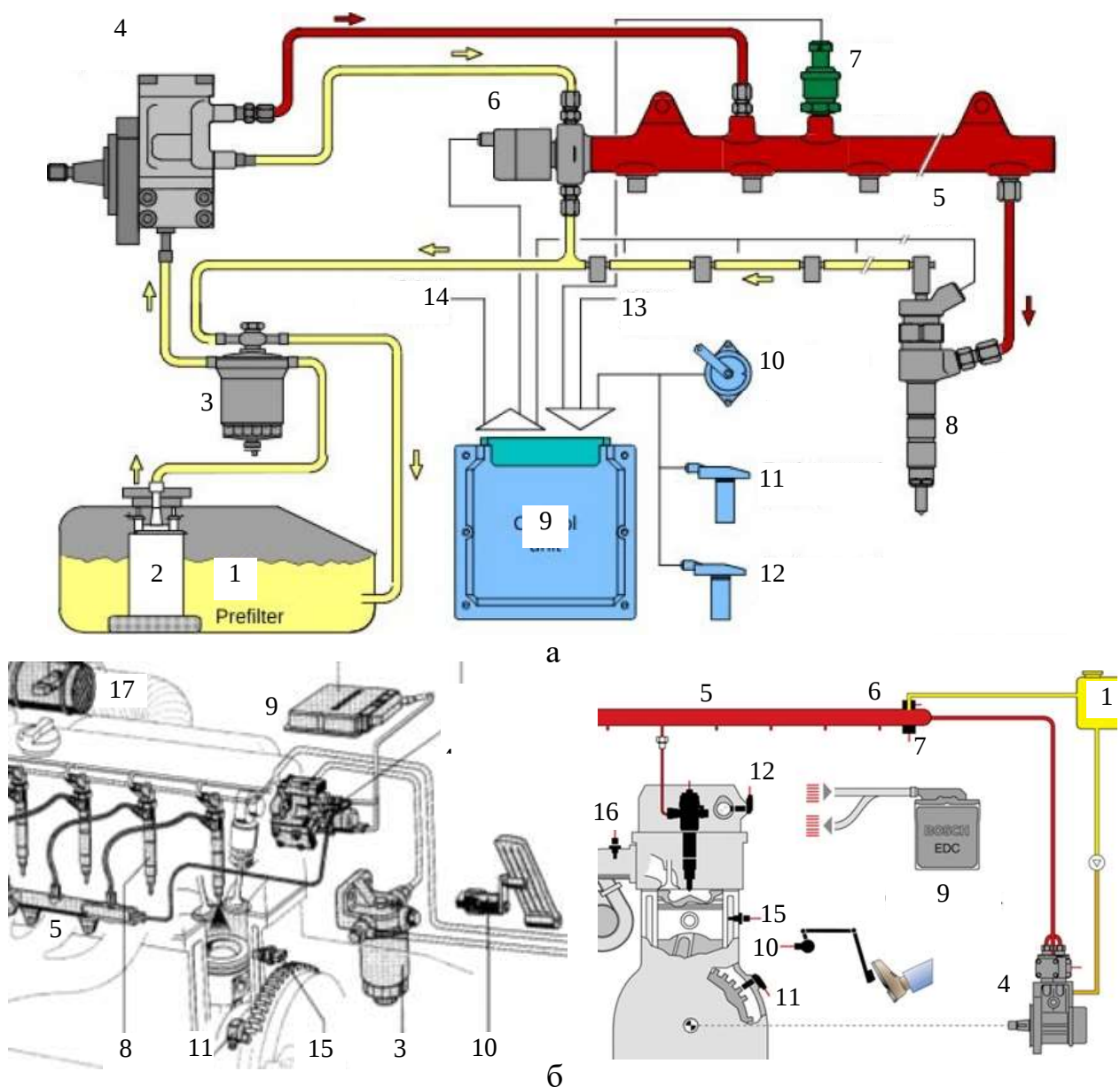


Рис. 2.26. Паливна система Common Rail: а – конфігурація; б – розміщення на двигуні

На рис. 2.26 позначено: 1 – паливний бак; 2 – насос підкачки; 3 – паливний фільтр; 4 – ПНВТ; 5 – паливний акумулятор; 6 – регулятор тиску; 7 – датчик температури палива; 8 – електромагнітні паливні форсунки; 9 – ЕБК; 10 – датчик ДППА; 11 – датчик ДПКВ; 12 – датчик ДПРВ; 13 – сигнали інших датчиків; 14 – інші виконавчі пристрої; 15 – датчик ДТОР; 16 – датчик температури повітря; 17 – датчик ДМВП.

Використовуючи вхідні сигнали датчиків, ЕБК реєструє положення педалі акселератора і визначає на даний час робочу характеристику двигуна і автомобіля як єдиного цілого. Порядок спалахів по циліндрам та момент (кут випередження) впорскування визначаються на підставі датчиків 11 і 12. Сигнал датчика 10 ініціює потрібний крутний момент. Сигнал датчика 17 використовується для визначення необхідної дози палива (часу відкриття форсунок) з метою отримання оптимального складу паливної суміші та відповідно нормування емісії шкідливих речовин у ВГ.

При низьких температурах навколишнього середовища і холодному двигуні, ЕБК використовує інформацію датчиків температури 15 і 16 для оптимізації величини кута випередження впорскування, використання додаткового впорскування та корекції інших параметрів керуючих впливів залежно від експлуатаційних умов. Означимо *відмінності конфігурацій* акумуляторних систем різних модифікацій і виробників.

По-перше, для підтримки заданого тиску в акумуляторі можуть застосовуватись або регулятор тиску (редукційний електроклапан в структурі ПНВТ чи паливного акумулятора), або регулятор потоку палива (редукційний електроклапан) у контурі низького тиску в структурі ПНВТ разом з обмежувачем тиску (механічний клапан в структурі паливного акумулятора).

По-друге, насос підкачки палива (низького тиску) може бути або механічний (в структурі ПНВТ чи окремий), або електричний в паливному баку.

По-третє, в системах може передбачатися двофазне впорскування, де в камеру згоряння попередньо впорскується запальна (пілотна) доза палива. Такий алгоритм поліпшує ефективність згоряння та забезпечує зниження шуму, витрати палива і емісії шкідливих речовин з ВГ.

По-четверте, поряд з системами Common Rail виробництва Bosch використовуються акумуляторні паливні системи інших виробників різних конфігурацій (рис. 2.27).

В *акумуляторних паливних системах другого покоління CR DFi* для підвищення динамічних характеристик форсунок почали застосовувати підвищену напругу імпульсів керуючого сигналу. З цією метою, в системі керування, поряд з блоком керування подачею палива ECU (Electronic Control Unit) 8, використовується силовий модуль EDU (Electronic Driver Unit) 9 з перетворювачем DC/DC, що підвищує напругу (рис. 2.28).

Електронний блок приводу форсунок EDU передає керуючі сигнали по форсунках з підвищеним напругою та ШІМ форми імпульсів.

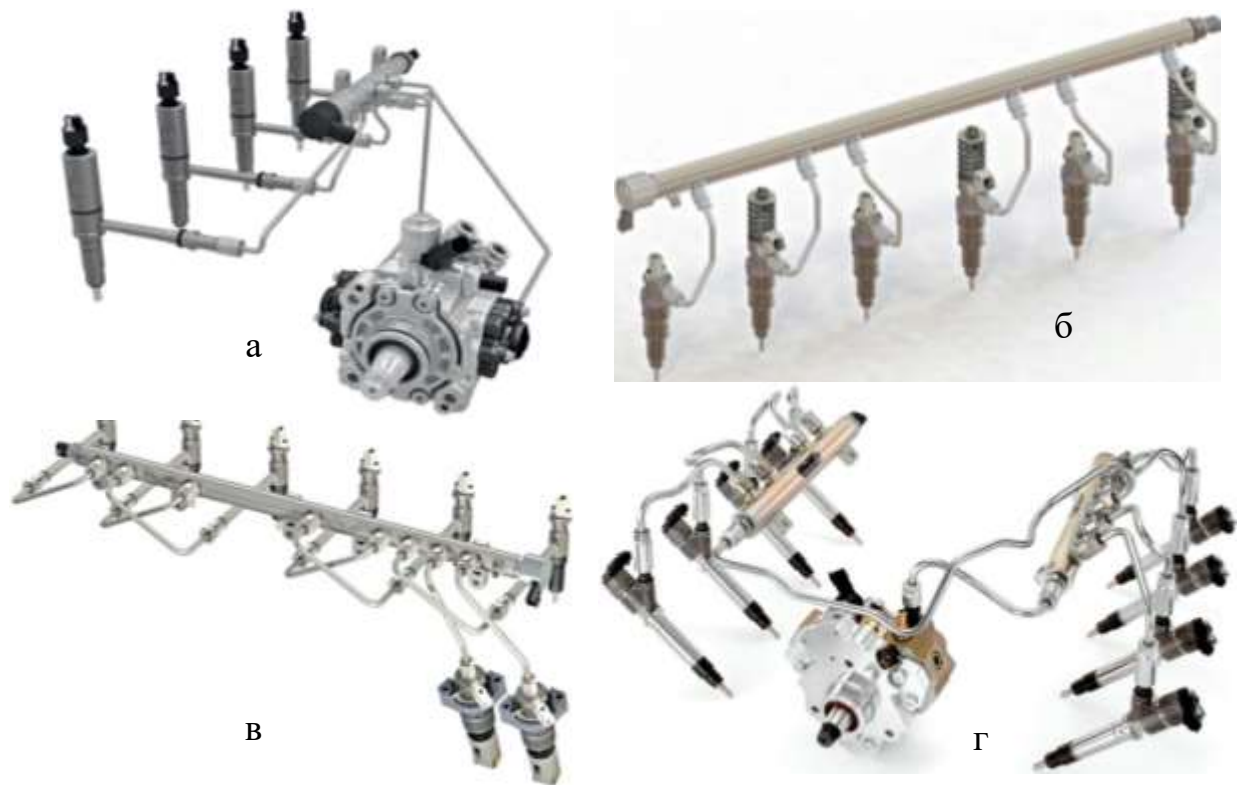


Рис. 2.27. Акумуляторні паливні системи виробництва Delphi:
а – з одним акумулятором; б – F2E з трьома насос-форсунками (6 інжекторів);
в – F2P з двома індивідуальними ПНВТ; г – з двома рампами

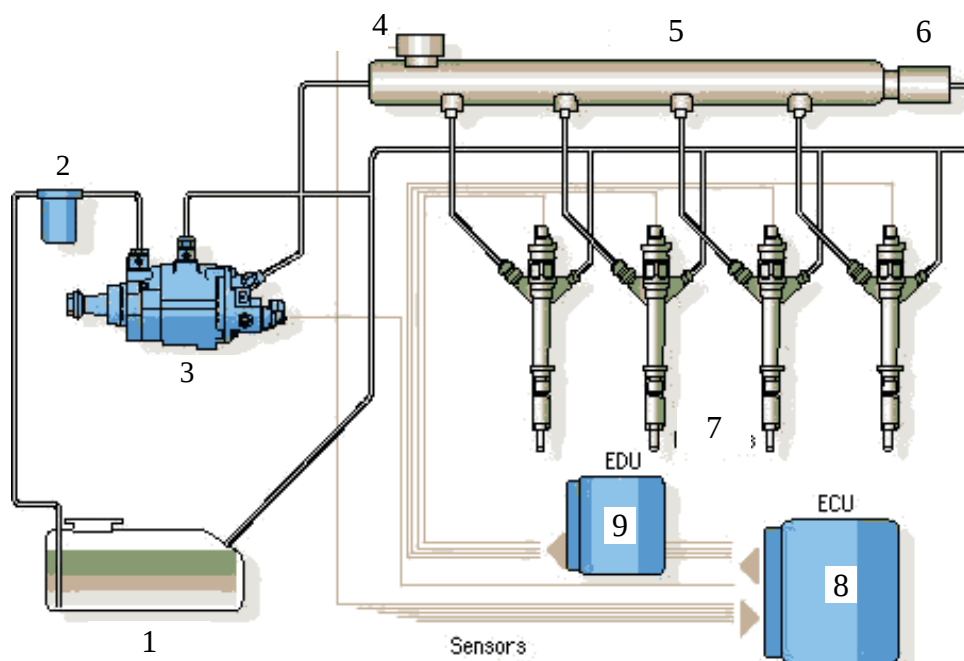


Рис. 2.28. Акумуляторна паливна система CR DFi: 1 – паливний бак; 2 – паливний фільтр;
3 – магістральний ПНВТ; 4 – датчик тиску; 5 – паливний акумулятор (рампа); 6 – обмежувач
тиску; 7 – електромагнітні форсунки; 8 – ЕБК; 9 – драйвер підвищеної напруги

2.4. Побудування комплексних систем керування дизелями

На реальних дизельних ДВЗ застосовуються комплексні системи керування, в яких на базі спільного ЕБК реалізовано декілька функціональних систем (каналів) керування (подачею палива, полегшенням пуску, впуском та наддуванням повітря, рециркуляцією ВГ, круїз-контроля та ін.) [36].

Системи EDC (Electronic Diesel Control) з рядними і розподільними ПНВТ, які здійснюють групове керування вприскуванням, мають схожі функціональні структури. Перелік режимних параметрів ДВЗ, які необхідні для формування керуючих сигналів виконавчими пристроями, в таких системах, можна визначити за призначенням датчиків (рис. 2.29).

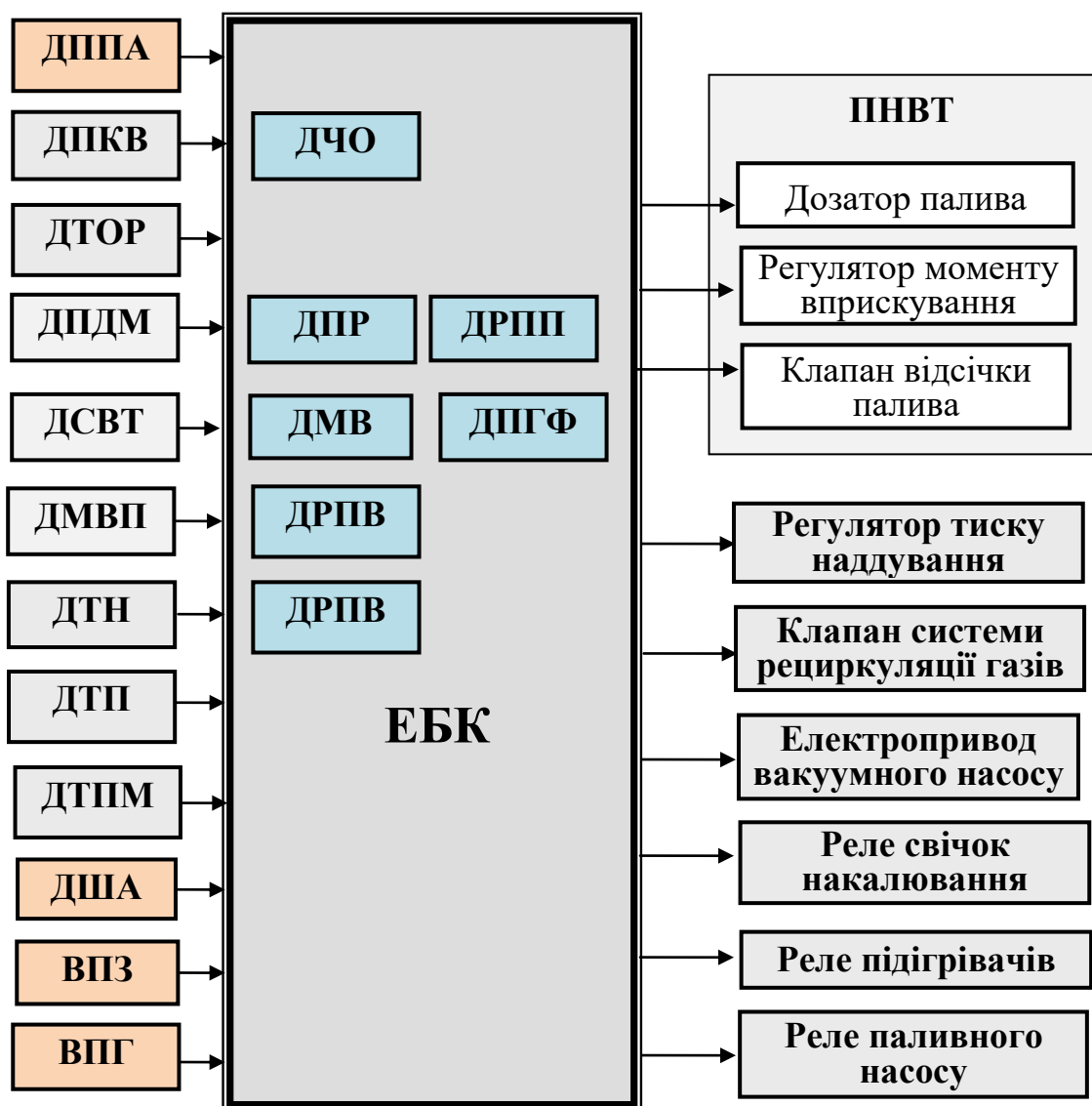


Рис. 2.29. Узагальнена функціональна схема системи EDC з груповим вприскуванням

В комплексній системі EDC використовуються датчики розглянутих систем подачі палива: ДППА, ДПКВ, ДТОР, ДПДМ, ДТП, ДСВТ, ДМВП. Деякі датчики аналогічного призначення в різних комплектаціях отримали нові (уза-

гальнені) назви: ДРПП (регулятора подачі палива); ДМВ (моменту впрыскування).

Для реалізації додаткових функцій комплексної системи EDC в схемі задіяні додаткові датчики режимних сигналів: тиску надування (ДТН); тиску палива в магістралі (ДТПМ); швидкості руху автомобіля (ДША); кінцевий вимикач педалі гальм (ВПГ); кінцевий вимикач педалі зчеплення (ВПЗ). Додамо, що у якості ДРПП для в рядних насосах виступає ДПР, в насосах VE, – ДПДМ, а в насосах VP з клапаном дозатора, – ДТПМ. Так само, в системах атмосферних двигунів у впускному тракті застосовуються ДРПВ або ДМВП, а в двигунах з надуванням повітря, – ДТН разом з ДМВП.

Реалізацію керуючих впливів за допомогою виконавчих пристроїв, розглянемо на прикладі системи EDC з розподільчим ТНВД VP-типу (рис. 2.30).

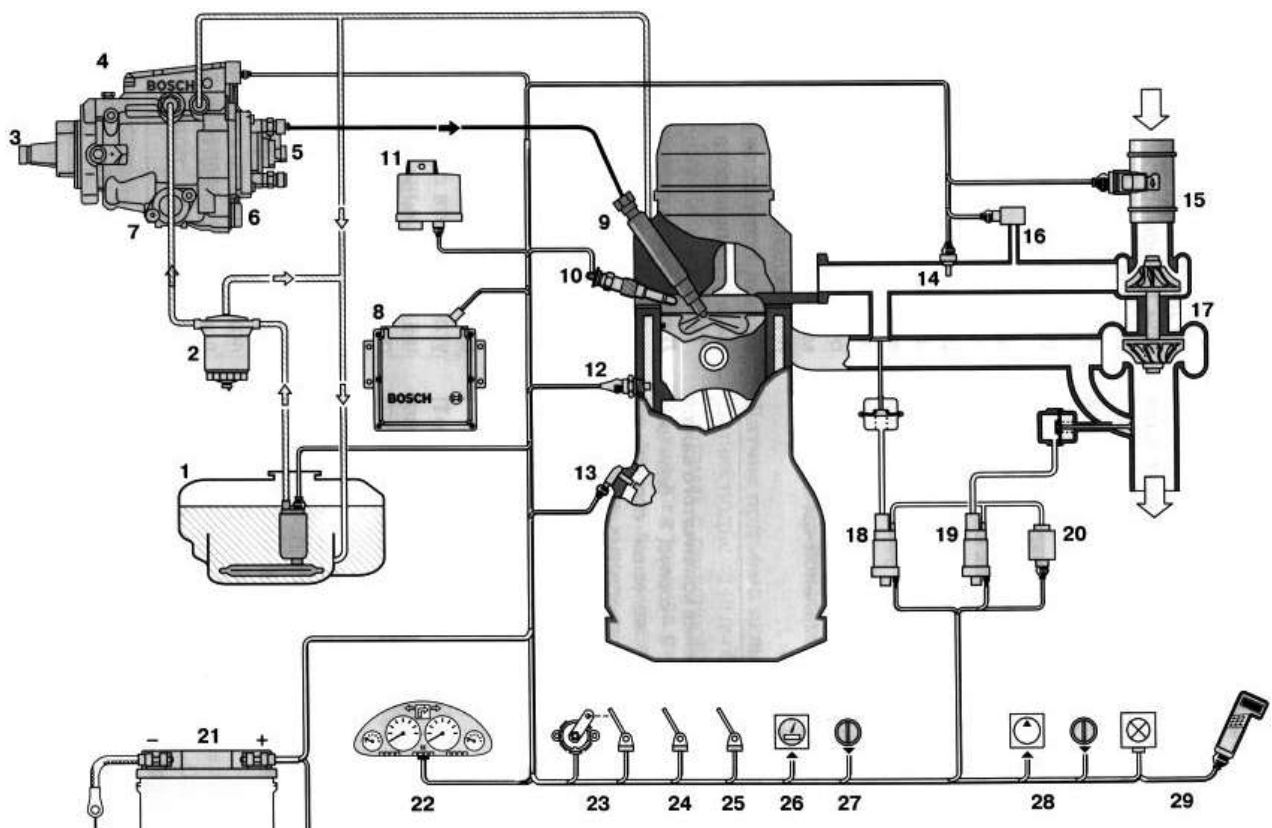


Рис. 2.30. Компонівка системи EDC з розподільчим ТНВД VP-типу:

- 1 – паливний бак з насосом підкачки; 2 – паливний фільтр; 3 – розподільний ТНВД;
- 4 – ЕБК ПНВТ; 5 – паливний ЕК дозатора; 6 – регулятор випередження впрыскування;
- 7 – датчик ДМВ; 8 – ЕБК ДВЗ; 9 – форсунка з датчиком ходу голки; 10 – свічка накаливання (СН); 11 – реле вмикання СН; 12 – датчик ДТОР; 13 – датчик ДЧО; 14 – датчик ДТПВ;
- 15 – датчик ДМВП; 16 – датчик ДТН; 17 – турбокомпресор; 18 – пневматичний ЕК приводу клапана EGR; 19 – пневматичний ЕК приводу перепускного клапану ВГ; 20 – вакуумний електронасос; 21 – АКБ; 22 – панель приладів; 23 – датчик ДППА; 24, 25 – кінцеві вимикачі гальма і зчеплення; 26 – датчик ДША і спідометр; 27 – пульт керування круїз-контролем; 28 – компресор і перемикач кондиціонера; 29 – сигналізатор несправності і діагностичне розпізнавання

В контурі низького тиску подачі палива, у РЕ та VE-насосах підкачка палива здійснюється механічним насосом в структурі ПНВТ, а в системах з VP-насосами, може застосовуватися електронасос в паливному баку 1. Для зупинки двигуна (припинення подачі палива) у РЕ та VE-насосах використовується окремий клапан відсічки палива, а в VP-насосах цю функцію виконує дозатор.

Система керування наддуванням повітря реалізується за допомогою пневмоелектричного регулятора, до складу якого входять вакуумний електронасос 20, пневматичний ЕК 19 та вакуумний привод заслінки (клапана ВГ), яка перепускає частину ВГ, минаючи приводні лопатки турбіни. Для контролю роботи системи використовується датчик тиску 16 та витрати повітря 15. В системах з VE-насосами, замість вакуумного електронасосу використовується канал розрядження у впускному колекторі з датчиком тиску наддування.

Керування клапаном системи EGR здійснюється аналогічно, за допомогою пневматичного ЕК 18.

Система полегшення пуску реалізуються за допомогою свічок накаливання (СН) 10 розташованих в головці циліндрів. Керування СН, зазвичай, здійснюється за допомогою термореле часу або окремого блока керування (для систем з VE-насосами) на підставі сигналів датчиків температури. Інформація з датчика ДТОР використовується для визначення одного з трьох варіантів забезпечення полегшеного пуску, залежно від температурного стану двигуна: без підігріву, з попереднім підігрівом, з підігрівом під час пуску двигуна. В комплексних системах EDC з VP-насосами, алгоритм керування СН реалізовано у програмі ЕБК 8, а безпосереднє підключення СН до живлення здійснюється за допомогою дистанційного реле 11.

Система передпускового підігріву реалізуються аналогічно за допомогою підігрівачів нерозгалужених потоків палива, повітря, охолоджуючої рідини.

В системі круїз-контролю задіяні датчики ДППА і ДША та регулятор швидкості 27, за показаннями яких, здійснюється керування подачею палива (потужністю двигуна) за допомогою дозатора 5, з метою підтримки заданої швидкості руху автомобіля.

В системах EDC з розподіленим керуванням *індивідуальними ПНВТ або насос-форсунками* додаткові функції керування реалізуються аналогічним чином [39]. На рис. 2.31 показано улаштування означених систем керування двигуном, які відрізняються тільки конструкцією виконавчого пристрою UIS/UPS.

На схемі (рис. 2.31) відокремлені елементи систем: А – подачі палива (ступінь низького тиску); В – ступеню високого тиску; С – електронного керування; D – периферійного обладнання. Привод (пневмоелектричний або електромоторний) дросельної заслінки 16 забезпечує підвищення ступеню рециркуляції відпрацьованих газів шляхом зниження тиску у впускному колекторі на малих швидкісних режимах двигуна. Індивідуальні ПНВТ утворюють високий тиск палива на вході в гідравлічну форсунку та дозують подачу палива в імпульсному режимі шляхом керування електромагнітним клапаном подачі палива.

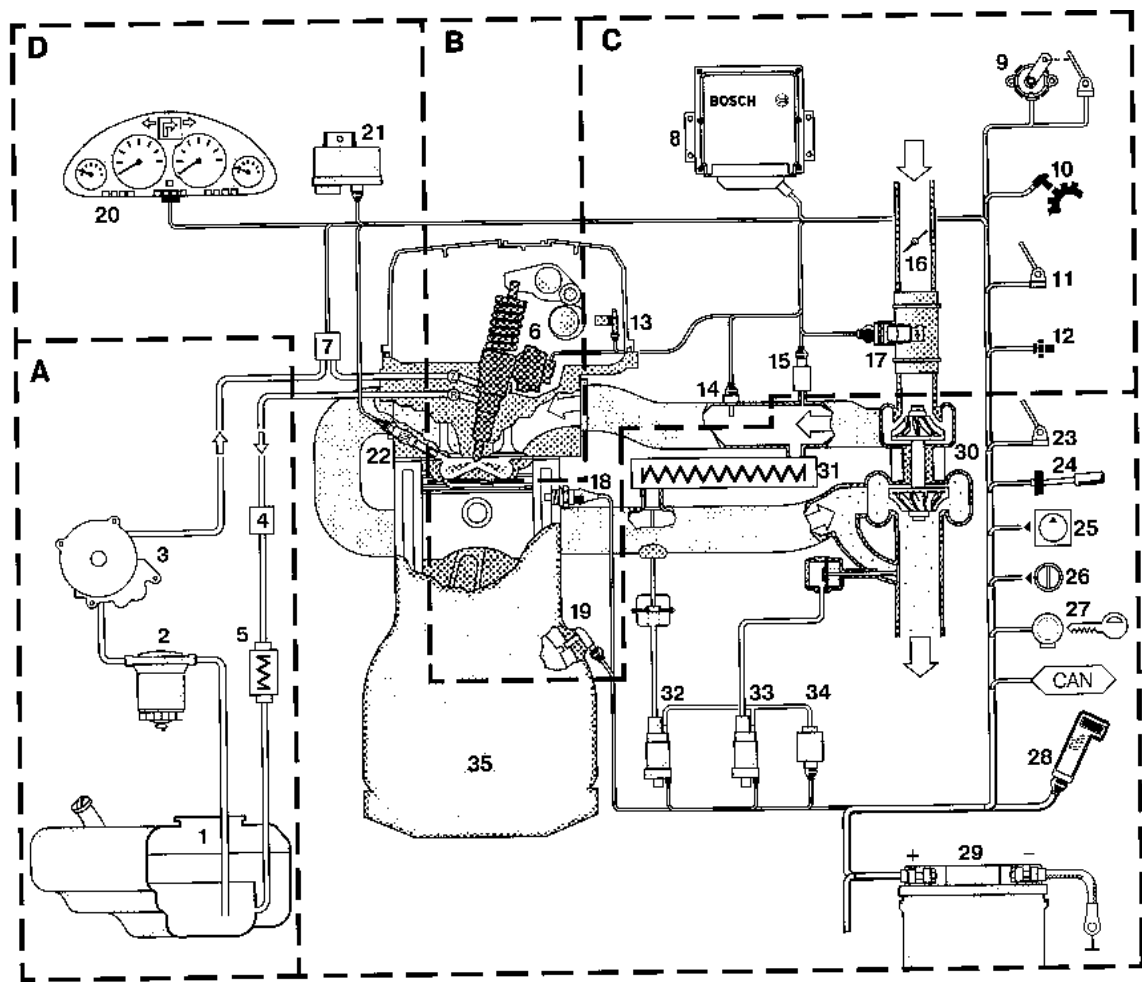


Рис. 2.31. Компонівка системи EDC з насос-форсунками:

- 1 – паливний бак; 2 – фільтр; 3 – насос підкачки палива; 4 – обмежувач тиску;
 5 – охолоджувач палива; 6 – насос-форсунка; 7 – датчик ДТП; 8 – ЕБК; 9 – датчик ДПА;
 10 – датчик ДША; 11 – контакти стоп-сигналу; 12 – датчик температури із-зовні; 13 – датчик ДПРВ;
 14 – датчик ДТПВ; 15 – датчик ДТН; 16 – дросельна заслінка; 17 – датчик ДМРВ;
 18 – датчик ДТОР; 19 – датчик ДПКВ; 20 – панель приладів; 21 – блок керування СН;
 22 – СН; 23 – кінцевий вимикач педалі зчеплення; 24 – перемикач круїз-контролю;
 25 – компресор кондиціонера; 26 – блок керування компресором кондиціонера; 27 – вимикач живлення;
 28 – рознімання сканера; 29 – АКБ; 30 – турбокомпресор; 31 – охолоджувач (інтеркулер);
 32 – пневматичний ЕК приводу клапана EGR; 33 – пневматичний ЕК приводу клапану перепуску ВГ;
 34 – вакуумний насос; 35 – ДВЗ

Паливні насос-форсунки утворюють високий тиск палива (функція насосу) на вході в електромагнітну форсунку та дозують подачу палива в імпульсному режимі. Обмін даними з іншими електронними системами автомобіля, здійснюється мережевим контролером по шині передачі даних CAN (Controller Area Network).

Комплексні системи з розподіленням керування UIS/UPS, крім згаданих раніше, включають датчик для ідентифікації циліндрів (положення розподільного валу ДПРВ) та атмосферного тиску ДАТ для пристосування к умовам експлуатації. Сигнали керування виконавчими пристроями формуються згідно схемі функціональної прив'язки (рис. 2.32).

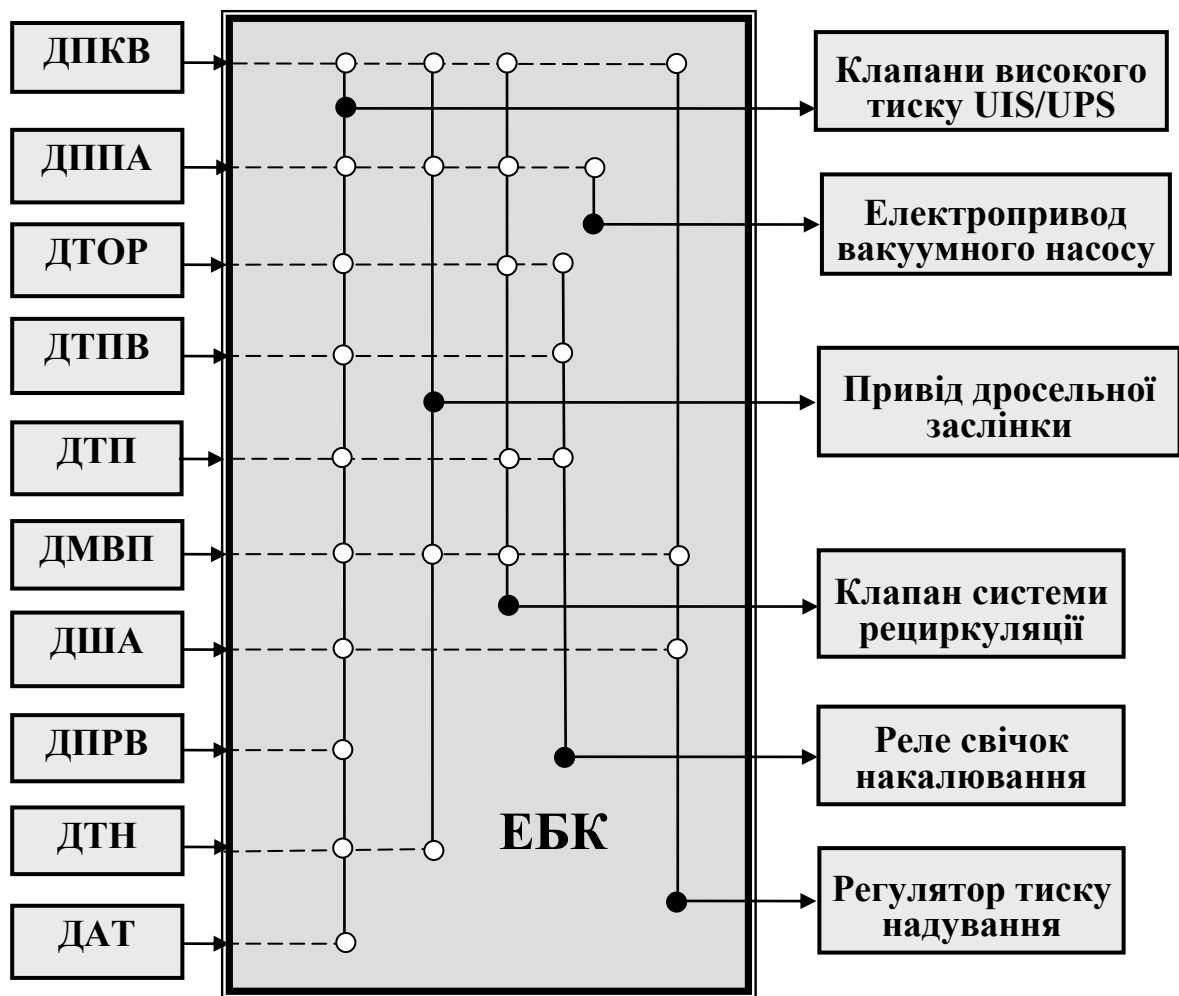


Рис. 2.32. Схема функціональна комплексної системи керування EDC UIS/UPS

Для забезпечення оптимального процесу згоряння в двигуні, ЕБК має здійснювати відповідний розрахунок величини подачі палива для кожного робочого режиму.

Пускова подача палива від моменту ввімкнення запалювання до моменту, коли досягається мінімальна частота обертання колінчастого валу двигуна забезпечується ЕБК на підставі інформації про температуру охолоджуючої рідини і частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Під час руху автомобіля кількість палива (доза) визначається як функція положення педалі акселератора і частоти обертання колінчастого валу двигуна.

На мінімальній частоті обертання холостого ходу ЕБК максимально обмежує подачу палива. При цьому, враховується положенням селектора коробки передач і температура охолоджуючої рідини ДВЗ.

На підставі сигналу з ДПКВ, система керування плавністю роботи двигуна відстежує зміни кутової швидкості обертання колінчастого валу, на час спалаху в циліндрах і порівнює ефективність їх роботи. Залежно від ступеню розбалансу циліндрів відбувається регулювання кількості палива в кожен ци-

ліндр. Внаслідок цього, вклад кожного циліндра в створення обертаючого моменту двигуна стає однаковим.

Автоматичне обмеження кількості палива, що впорскується, визначається на підставі інформації про масову витрату повітря, частоту обертання та температуру охолоджуючої рідини ДВЗ.

При різкому натисненні або відпусканні педалі акселератора відбувається швидка зміна циклової подачі палива і, як наслідок, швидка зміна обертаючого моменту двигуна. Внаслідок цього, утворюються вібрації ДВЗ (відбуваються коливання частоти обертання колінчастого валу). Для запобігання цього небажаного процесу, ЕБК змінює циклову подачу палива з частотою коливань обертання.

Тиск наддування повітря регулюється залежно від атмосферного тиску та через систему керування обмежує обертаючий момент двигуна. Вразі вимикання надлишкових за потужністю циліндрів, алгоритм ЕБК забезпечує плавність переходу робочих режимів.

Зупинка дизельного двигуна (припинення подачі палива) здійснюється шляхом припинення сигналу на спрацьовування електромагнітних клапанів UIS/UPS.

Комплексна система управління HEUI, що встановлюється на легкові автомобілі Isuzu, реалізує додаткові функції керування підігрівом повітря і гірськими гальмами у випускному тракті [42] (рис. 2.33).

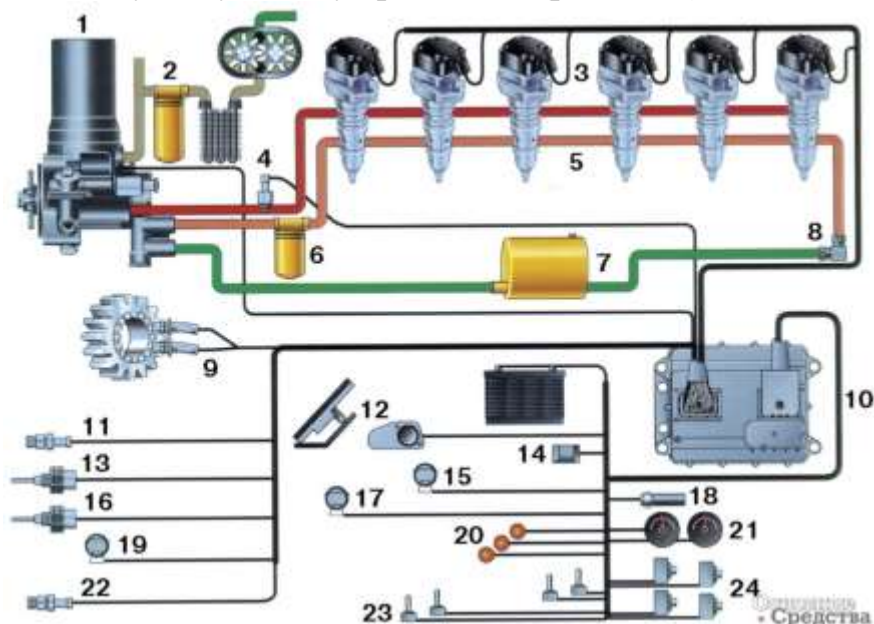


Рис. 2.33. **Схема монтажна системи HEUI:** 1 – гідронасос; 2 – система змащування двигуна; 3 – насос-форсунки; 4 – ЕК керування тиском масла в магістралі високого тиску; 5 – паливна магістраль високого тиску; 6 – паливний фільтр; 7 – паливний бак; 8 – клапан підтримання тиску в паливній магістралі; 9 – датчик частоти обертання і моменту впорскування; 10 – ЕБК; 11 – датчик ДТН; 12 – датчик ДППА; 13 – датчик ДТОР; 14 – інтерфейс; 15 – реле гірського гальма; 16 – датчик ДТПВ; 17 – трансмісійне реле; 18 – датчик ДША; 19 – реле підігріву всмоктуваного повітря; 20 – контрольні лампи; 21 – спідометр і тахометр; 22 – датчик ДАТ; 23 – вмикачі спеціальних режимів; 24 – кінцеві вимикачі нейтралі і гальмів стоянки

В системі застосований оригінальний датчик частоти обертання і моменту впорскування енкриментного типу у якості ДПКВ.

Як приклад комплексної системи EDC з паливним акумулятором, розглянемо систему *Common Rail* (CR) фірми Bosch [41] (рис 2.34).

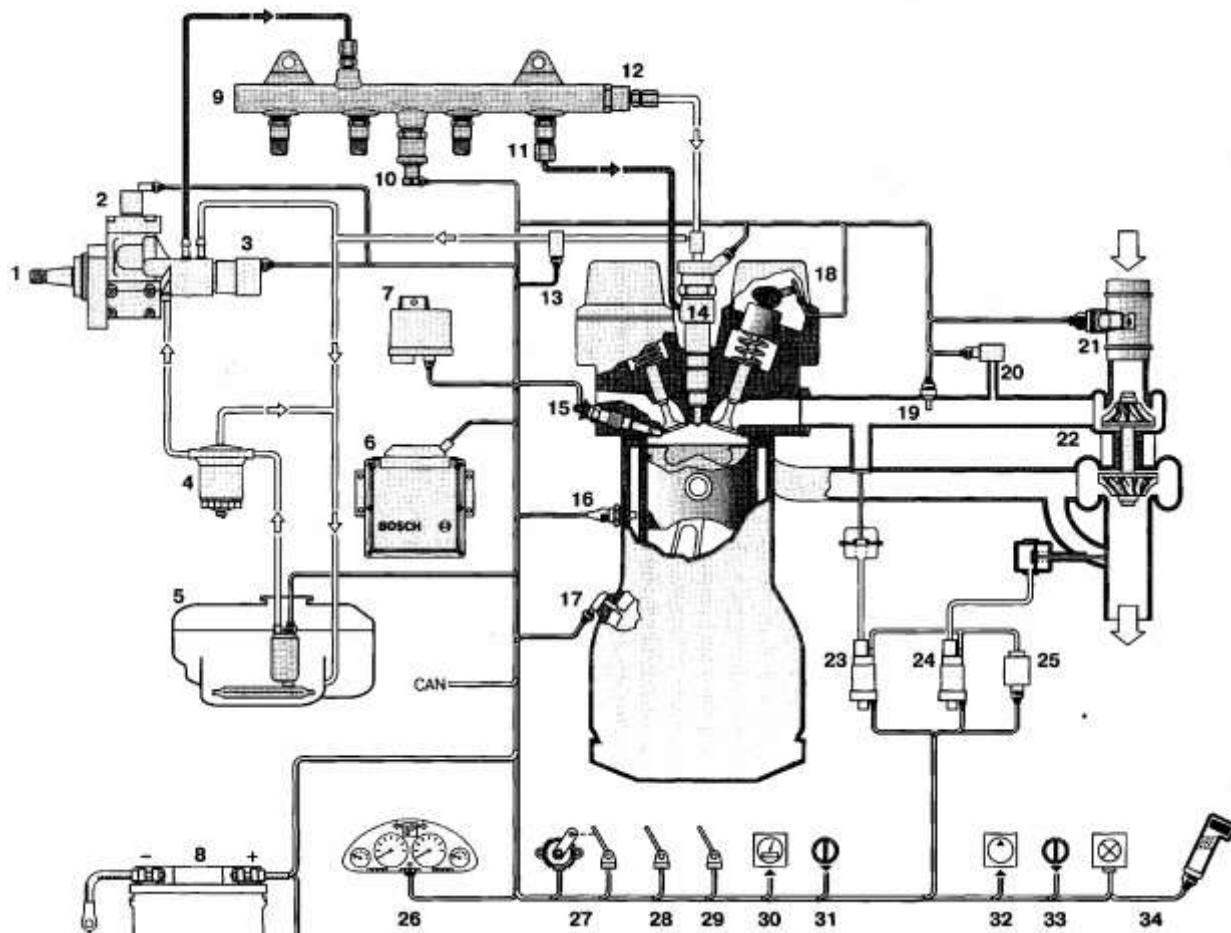


Рис. 2.34. Компонування системи EDC типу *Common Rail*: 1 – паливний насос високого тиску; 2 – перепускний клапан; 3 –редукційний ЕК (регулятор тиску); 4 – паливний фільтр; 5 – паливний бак з насосом підкачки; 6 – ЕБК; 7 – реле вмикання СН; 8 – АКБ; 9 – паливний акумулятор; 10 – датчик тиску палива в акумуляторі; 11 – паливний жиклер; 12 - запобіжний клапан; 13 - датчик ДТП; 14 – електромагнітна форсунка; 15 – СН; 16 – датчик ДТОР; 17 – датчик ДПКВ; 18 – фазовий дискримінатор; 19 – датчик ДТПВ; 20 – датчик ДТН; 21 – датчик ДМВП; 22 – турбокомпресор; 23 – пневматичний ЕК керування приводом клапану EGR; 24 – пневматичний ЕК керування надуванням; 25 – вакуумний насос; 26 – панель приладів; 27 – датчик ДППА; 28 – датчик педалі гальма; 29 – датчик виключення зчеплення; 30 – датчик ДША; 31 – пульт керування круїз-контролем; 32 – компресор кондиціонера; 33 – перемикач кондиціонера; 34 – аварійний сигналізатор і діагностичне рознімання

У рампі форсунок використовується обмежувальний клапан тиску палива 12 (150 МПа). Кількість палива, що впорскується, визначається тривалістю відкриття електромагнітної форсунки. Для зниження втрат енергії на стиснення палива в режимі ХХ і часткових навантажень, продуктивність ПНВТ може зменшуватися шляхом відкриття перепускного клапана 2, який відключає дію однієї плунжерній пари.

За допомогою послідовної шини даних CAN, ЕБК системи CR взаємодіє з іншими електронними системами автомобіля. Так, інформація про необхідність зміни крутного моменту двигуна може надходити від систем ABS. Значне споживання енергії кондиціонером робить необхідним його відключення на деяких режимах роботи двигуна. Протиугінна система, забезпечує блокування несанкціонованого пуску двигуна. У комплексній системі керування реалізовані принципи самодіагностики і обмеженого режиму роботи.

В системі CR на відзнаку від системи з насос-форсунками використовується датчик тиску палива в акумуляторі ДТПА (рис. 2.35).

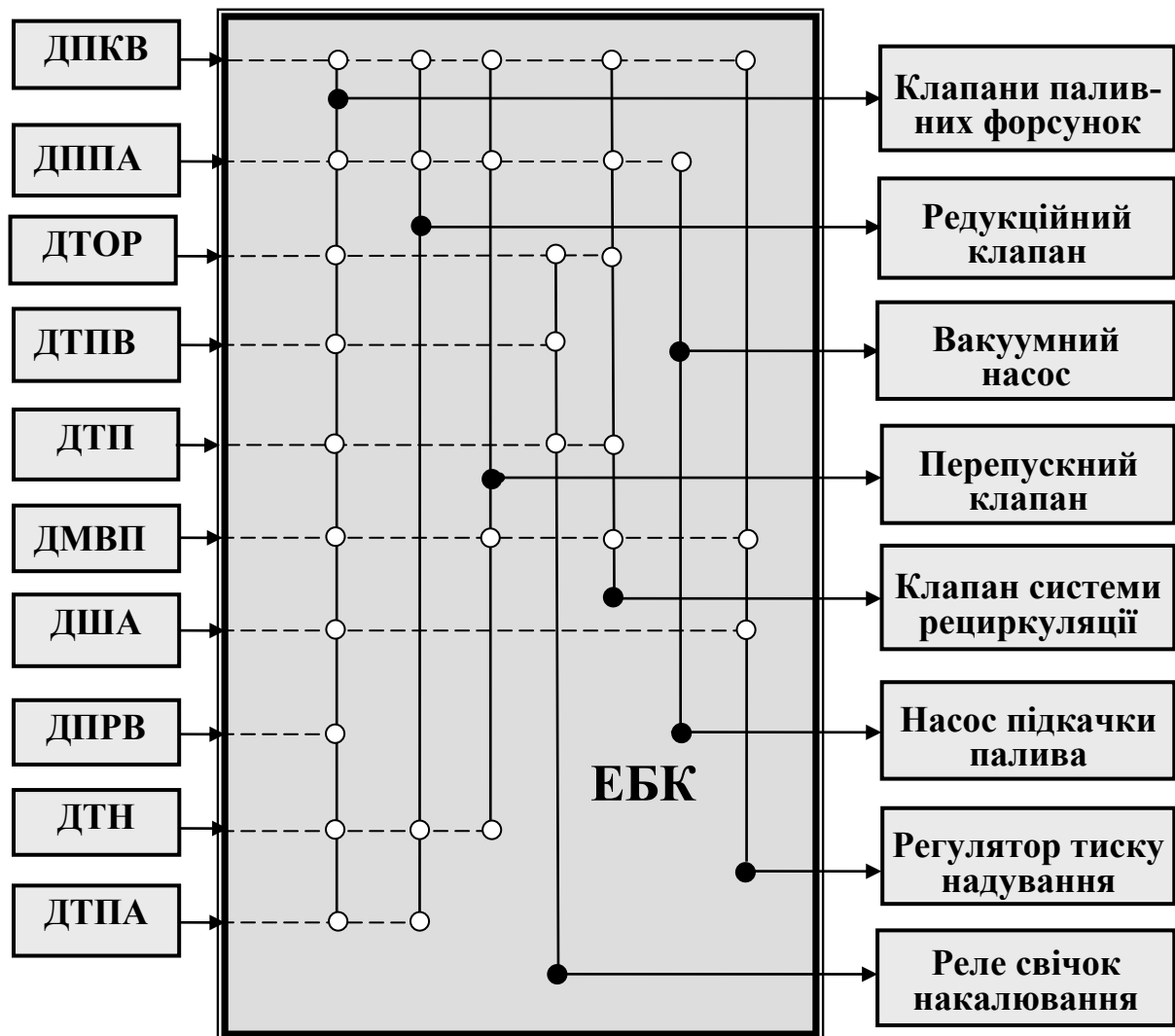


Рис. 2.35. Схема функціональна системи керування типу Common Rail

При пуску двигуна, кількість палива що впорскується, є постійною величиною. У робочому режимі, для визначення кількості палива використовується сигнал датчика ДППА і датчика ДПКВ. На підставі цих сигналів ЕБК визначає значення кута випередження впорскування (момент подачі палива) і тривалість відкриття форсунки, використовуючи характеристичні карти.

Для зниження витрати палива, частота обертання КВ на режимі ХХ підтримується на межі стійкої роботи ДВЗ. При цьому, враховується температура двигуна і сигнали про вмикання кондиціонера та інших пристроїв, що створюють навантаження на ДВЗ.

Функція *забезпечення рівномірності* роботи двигуна зводиться до врахування відмінностей у величині крутного моменту створюваного окремими циліндрами двигуна при дозуванні палива по кожному циліндру.

Для *запобігання коливань частоти обертання* двигуна при різкій зміні положення педалі акселератора, кількість палива, що впорскується, змінюється в протифазі з виниклим коливальним процесом (ПД-регулювання).

Режим автоматичної підтримки заданої швидкості автомобіля (круїз-контроль) вмикається за бажанням водія. Для реалізації цієї функції до ЕБК підключається датчик ДША. Режим переривається при впливі на педаль гальма або акселератора.

Обмеження подачі палива здійснюється з метою зниження шкідливих викидів, в тому числі сажі, запобігання механічних або температурних перевантажень двигуна. Зупинка двигуна забезпечується відключенням форсунок.

Контрольні запитання за темою 2

1. Означте характерні функції систем курування, що пов'язані з особливістю конструкції та робочих процесів в дизельних ДВЗ.
2. Поясніть застосування ПД-регуляторів в системах керування дизелями.
3. Поясніть застосування ШІМ-регуляторів в системах керування дизелями.
4. Назвіть способи оптимізації характеристик дизельних ДВЗ.
5. Дайте порівняльну характеристику існуючих систем подачі палива в дизелях.
6. Поясніть структуру і функціонування системи передпускового підігріву та полегшення пуску дизеля.
7. Поясніть улаштування та функціонування МС систем турбонаддува різного типу (з перепускною заслінкою, зі змінним соплом, з двома турбінами).
8. Поясніть улаштування та функціонування МС систем рециркуляції ВГ.
9. Поясніть устрій та функціонування електромагнітних форсунок.
10. Поясніть устрій та функціонування гідроелектричних форсунок дизелів.
11. Поясніть устрій та функціонування п'єзоелектричних форсунок дизелів.
12. Поясніть способи електричного керування рядними ПНВТ.
13. Поясніть способи електричного керування ПНВТ розподільного типу VE.
14. Поясніть способи електричного керування ПНВТ розподільного типу VP.
15. Поясніть способи електричного керування ПНВТ магістрального типу.
16. Поясніть устрій та функціонування індивідуальних ПНВТ.
17. Поясніть устрій та функціонування електромагнітних насос-форсунок з механічним приводом.
18. Поясніть устрій та функціонування п'єзоелектричних насос-форсунок з механічним приводом.
19. Поясніть устрій та функціонування електромагнітних насос-форсунок з гідравлічним приводом.
20. Поясніть улаштування та функціонування МС подачі палива з рядним ПНВТ.

21. Поясніть улаштування та функціонування МС подачі палива з ПНВТ розподільного типу.
22. Поясніть улаштування та функціонування акумуляторної паливної системи.
23. Поясніть особливості улаштування високовольної акумуляторної паливної системи CR DFi.
24. Поясніть улаштування та функціонування системи вприскування палива з електромагнітними насос-форсунками.
25. Поясніть улаштування та функціонування системи вприскування палива з гідравлічним приводом електромагнітних насос-форсунок.
26. Поясніть улаштування та функціонування системи вприскування палива з індивідуальними ПНВТ.
27. Які додаткові функції реалізовані в комплексних системах керування дизелями?
28. Наведіть перелік датчиків характерних для комплексних систем керування дизельними ДВЗ.
29. Наведіть перелік виконавчих пристроїв характерних для комплексних систем керування дизельними ДВЗ.
30. Поясніть різницю в комплектації датчиків МС систем дизельних ДВЗ з поєднанням і розподіленням керуванням вприскуванням палива.

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

АКБ – акумуляторна батарея;
АКП – автоматична коробка передач;
АТЗ – автотранспортні засоби;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
ВГ – відпрацьовані гази;
ВД – вимірювальні датчики;
ВЗ – вимикач запалювання;
ВК – вимикач кондиціонеру;
ВМТ – верхня мертва точка;
ВП – виконавчі пристрої;
ВППГ – кінцевий вимикач педалі гальм;
ВПЗ – кінцевий вимикач педалі зчеплення;
ГБО – газо-балонне обладнання;
ГРМ – газорозподільний механізм;
ДАТ – датчик атмосферного тиску;
ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;
ДД – датчик детонації;
ДЗ – дросельна заслінка;
ДКК – датчик концентрації кисню;
ДКПР – датчик кутового положення ротора;
ДМВ – датчик моменту вприскування;
ДМВП – датчик масової витрати повітря;
ДПГФ – датчик положення голки форсунки;
ДППА – датчика положення педалі акселератора;
ДПДЗ – датчик положення дросельної заслінки;
ДПДМ – датчик положення дозуючої муфти;
ДПКВ – датчик положення колінчастого валу;
ДППГ – датчика положення педалі гальма;
ДПР – датчик положення ротора;
ДПРВ – датчик положення розподільного валу;
ДРПК – датчик розрядження у впускному колекторі;
ДПР – датчик положення рейки;
ДРП – датчик розрядження повітря;
ДРПП – датчик регулятора подачі палива;
ДСВП – датчик синхронізації вприскування палива;
ДСІ – датчик системи імобілайзера;
ДТ – датчик тиску;
ДТОР – датчик температури охолоджуючої рідини;
ДТН – датчик тиску надування;
ДТП – датчик температури палива;
ДТПА – датчик тиску палива в акумуляторі;
ДТПВ – датчик температури повітря на впуску;
ДТПМ – тиску палива в магістралі;
ДЧО – датчик частоти обертання;
ДША – датчик швидкості автомобіля;
ЕБК – електронний блок керування;
ЕД – електродвигун;
ЕК – електроклапан;
ЕКДП – електроклапан дозатора палива;
ЕКВП – електроклапан відсічки палива;
ЕП – електропривод;

ЕПХХ – економайзер примусового холостого ходу;
 ЕПЗП – електрично-програмований запам'ятовуючий пристрій;
 ЕСК – електронна система керування;
 КВ – колінчастий вал;
 КВН – контролер кола високої напруги;
 КЗ – коротке замикання;
 ККД – коефіцієнт корисної дії;
 КП – коробка передач;
 КСЗ – катушки системи запалювання;
 КШМ – кривошипно-шатунний механізм;
 МКП – механічна коробка передач;
 МНВТ – масляний насос високого тиску;
 МР – механізм розподілу;
 МС – мехатронна система;
 МП – мікропроцесор;
 МПР – механізм приводу;
 ОР – охолоджуюча рідина;
 ПЕК – п'єзоелектричний клапан;
 ПЕФ – п'єзоелектрична форсунка;
 ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори;
 ПКДМ – привід керування дозуючою муфтою;
 ПКМВ – привід керування моментом впорскування;
 ПКР – привід керування рейкою;
 ПНВТ – паливний насос високого тиску;
 ПННТ – паливний насос низького тиску;
 ППС – паливо-повітряна суміш;
 ПФ – паливна форсунка;
 РХХ – регулятор холостого ходу;
 СЛ – сигнальна лампа;
 СН – свічки накаливання;
 СО – система охолодження;
 ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
 ЧІМ – частото-імпульсна модуляція;
 ШІМ – широто-імпульсна модуляція;
 ХХ – холостий хід.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бороденко, Ю. М. Електричні системи і комплекси транспортних засобів : розділ "Мехатронні системи приводу автомобілів": конспект лекцій [Електронний ресурс] / Ю. М. Бороденко; М-во освіти і науки України, ХНАДУ. – Харків: ХНАДУ, 2019. – 121 с. Посилання ftp://194.44.189.147/libfulltxt/UCHLIB/KL/2019/KL_Borodenko.pdf.
2. Бірюков М. Системи управління бензиновими двигунами. Переклад з німецької. С40 перше російське видання. – М.: ТОВ «Книжкове видавництво «За кермом»», 2005. – 420 с.
3. Соснин Д.А., Яковлев В.Ф. Новейшие автомобильные электронные системы. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.
4. Литвиненко В.В. Автомобильные датчики, реле и переключатели. Краткий справочник. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 176 с.

5. Система непосредственного впрыска бензина Bosch Motronic MED 7. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://www.autodela.ru/assets/files/books/VW/253-Bosch-Motronic-MED7.pdf>.
6. Система впуска, двигатель N52. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://tis.bmwcats.com/doc1102258/>.
7. Система охлаждения двигателя с электронным регулированием. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: http://www.help4auto.com/download/ssp/222_jelektronnaya%20sistema%20ohlazhdeniya.pdf.
8. Степень свободы. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://abs-magazine.ru/article/stepenj-svobodi>.
9. Экологические системы современного легкового автомобиля. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: http://altay-krylov.ru/ch_ecolog_sist_avto.html.
10. Система EGR. Принцип работы. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://www.drive2.ru/b/1910059/>.
11. Система впрыска КЕ Джетроник. Устройство и принцип действия. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://ustroistvo-avtomobilya.ru/sistemy-vpryska/ustrojstvo-i-prinsip-dejstviya-sistemy-vpry-ska-ke-dzhetronek/>.
12. Системы впрыска бензина. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: http://dvfokin.narod.ru/auto_ych/Benzin/Benzin_kejetronic.htm.
13. Системы впрыска топлива. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://www.drive2.ru/b/467388925023879210/>.
14. Устройство ЭСАУ двигателем. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/6234706/page/2/>.
15. Клапан электромагнитного изменения фаз ГРМ. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://tomosiha.ru/the-valve-of-electromagnet-changes-of-phases-why-change-the-timing.html>.
16. Система изменения фаз газораспределения. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <http://avto-master.info/ustrojstvo-i-prinsip-dejstviya/sistema-izmeneniya-faz-gazoraspredeleniya.html>.
17. Газораспределительный механизм с изменяемыми фазами. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://novainfo.ru/article/8461>.
18. Изменение высоты подъема клапана. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <http://explavto.narod.ru/files/ats/klapan/1.htm>.
19. New York Preview: Nissan to introduce new variable valve timing tech. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://www.autoblog.com/2007/04/01/new-york-preview-nissan-to-introduce-new-variable-valve-timing/>.
20. Контролеры впуска. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://www.autocentre.ua/opyt/tehnologii/kontrolery-vpuska-282016.html>.
21. Двигатели Hyundai могут экономить топливо благодаря зависающим клапанам. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://news.drom.ru/Hyundai-70023.html>.
22. Гидроэлектрический привод клапанов. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://ustroistvo-avtomobilya.ru/dvigatel/gazoraspredelitelnyj-mehanizm-grm/gidravlicheskij-privod-klapanov/>.
23. Обзор системы MultiAir: преимущества, минусы, надежность, на каких автомобилях устанавливается. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <http://www.1gai.ru/publ/522992-obzor-sistemy-multi-air-preimuschestva-minusy-nadezhnost-na-kakih-avtomobiljah-ustanavlivaetsja.html>.
24. Система INA UNIAIR. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: http://www.car-use.lv/99/Inter_Cars/IC_1809_razhotaju_INA_Uni-air_RU.htm.

25. Двигатель без распределительного вала. Инновационная система клапанов экономит 20% топлива. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://naukatehnika.com/dvigatel-bez-raspredelitelnogo-vala-1.html>.
26. Как работает двигатель без ГРМ? / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://www.popmech.ru/vehicles/237446-kak-rabotaet-dvigatel-bez-grm/>.
27. Двигатель без ГРМ — альтернатива от Freevalve. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://www.sciencedebate2008.com/dvigatel-bez-grm-alternativa-ot-freevalve/>.
28. Øyvind Gundersen. Free Valve Technology. Master of Science Thesis Stockholm, Sweden 2009. – 53 с.
29. Система управления цилиндрами. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: http://systemsauto.ru/engine/cylinder_deactivation.html.
30. Система отключения цилиндров двигателя. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://fishki.net/auto/2596859-sistema-otkljucheniya-cilindrov-dvigatelja.html>.
31. Valve Control Management (VCM). / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://new.abb.com/turbocharging/technologies/vcm>.
32. Система управления топливом компании SAAB. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/dvigatel/sistema-upravleniya-toplivom-kompanii-saab/>.
33. Турбонаддув двигателя TDI. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <http://systemsauto.ru/vpusk/t di.html>.
34. Рециркуляция отработавших газов. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://ustroistvo-avtomobilya.ru/sistemy-snizheniya-toksichnosti/retsirkulyatsiya-otrabetavshih-gazov/>.
35. Система рециркуляции отработавших газов. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <http://systemsauto.ru/output/recirculation.html>.
36. Впрыск дизельных двигателей. Практическое руководство. / Под ред. С.В. Афонина. – СПб.: «ПОНЧИК», 1998. – 148 с.
37. Системы впрыска топлива Common Rail. Учебное пособие. – М.: Техлит, 2005. – 112 с.
38. Системы впрыска топлива UPS. Учебное пособие. – М.: Техлит, 2005. – 142 с.
39. Топливные системы дизелей с насос-форсунками и индивидуальными ТНТВД. Учебное пособие. – М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2005. – 74 с.
40. Насос-форсунки с гидравлическим приводом плунжера и электромагнитным управлением подачей топлива. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <http://mirmarine.net/dvs/toplivnye-sistemy/toplivnye-sistemy-s-gidravlicheskim-privodom-toplivnykh-nasosov-i-nasos-forsunok/405-nasos-forsunki-s-gidravlicheskim-privodom-plunzhera-i-elektromagnitnym-upravleniem-podachej-topliva>.
41. Дизельные аккумуляторные топливные системы Common Rail. Учебное пособие. – М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2005. – 48 с.
42. Система HEUI – впрыск XXI века по-американски. / Матеріали сайту – 2020. – Режим доступу: <https://os1.ru/article/7060-sistema-heui-vprysk-xxi-veka-po-amerikanski>.