

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

Кафедра основ виробництва

Юрій С К В А Р О К

**ПАЛИВНА АПАРАТУРА
ДВИГУНІВ**

Курс лекцій

**Навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів**

Дрогобич, 2008

УДК 629.33
ББК 39.3
С 42

Рекомендовано до друку вченою радою Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка
(протокол № 5 від 22 травня 2008 р.)

Скварок Ю.Ю. Паливна апаратура двигунів. Курс лекцій. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2008. - 117 с.

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

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

Редактор: Біблій І.

Рецензенти:

Чернець М.В. – доктор технічних наук, професор, проректор Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка;

Крохта Р.І. – директор Дрогобицької автомобільної школи ТСО України.

Відповідальний за випуск: Леськів В.Д. – кандидат технічних наук, доцент кафедри основ виробництва Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

© Ю.Ю.Скварок, 2008

ЗМІСТ

Вступ	5
Тема 1. Автомобіль та проблеми охорони навколишнього середовища	6
1.1. Шкідливі викиди автомобілів та їх дія на навколишнє середовище	6
1.2. Показники токсичності автомобільних двигунів	9
1.3. Нормування і контролювання шкідливих викидів автомобільних двигунів	10
1.4. Система нейтралізації відпрацьованих газів	12
Тема 2. Система впорскування палива «K-Jetronic»	20
2.1. Класифікація систем впорскування легкого палива	20
2.2. Загальні відомості про систему “K-Jetronic“	21
2.3. Принцип дії, головна дозувальна система й система холостого ходу	22
2.4. Система пуску	25
2.5. Агрегати і вузли системи	26
2.6. Електрична схема системи впорскування	36
2.7. Заміна форсунок	39
Тема 3. Системи впорскування палива “KE-Jetronic”, “L-Jetronic”, “Mono-Jetronic”, “Opel-Multec”, безпосереднього впорскування	42
3.1. Системи впорскування палива “KE-Jetronic”	42
3.2. Система впорскування палива “L-Jetronic”	50
3.3. Система впорскування палива “Mono-Jetronic”	56
3.4. Система впорскування палива “Opel-Multec”	59
3.5. Система безпосереднього впорскування бензину	60
Тема 4. Особливості функціонування паливних систем дизелів з електронним керуванням	67
4.1. Особливості паливних систем дизелів з електронним керуванням	67
4.2. Паливні системи з кулачковим приводом плунжерів	69

Тема 5. Насос-форсунки і безрейкові ПНВТ з електронним керуванням	87
5.1. Насос-форсунки	87
5.2. Альтернативні системи з електронним керуванням	95
Тема 6. Акумуляторні паливні системи з електронним керуванням типу Common Rail	97
6.1. Склад акумуляторної паливної системи	97
6.2. Паливopідкачувальний насос і фільтри	100
6.3. ПНВТ для акумуляторної паливної системи	101
6.4. Акумулятор, запобіжний клапан, датчик тиску, аварійний обмежувач подачі	105
6.5. Електрогiдравлічні форсунки Common Rail	108
Предметний покажчик	115
Література	117

Вступ

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

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

Посібник призначений насамперед для студентів спеціальності “Професійне навчання” за профілем підготовки “Експлуатація та ремонт місцевого та автомобільного транспорту” і покликаний ознайомити їх з новою автомобільною технікою.

У посібнику вжито такі скорочення:

ШР – шкідливі речовини;

ВГ – відпрацьовані гази;

ППА – паливоподаюча апаратура;

ППН – паливopідкачуючий насос;

ПНВТ – паливний насос високого тиску;

КВПП – кут випередження подачі палива;

СК – система керування;

CR – Common Rail.

Тема 1. Автомобіль та проблеми охорони навколишнього середовища

План

- 1.1. Шкідливі викиди автомобілів та їх дія на навколишнє середовище.
- 1.2. Показники токсичності автомобільних двигунів.
- 1.3. Нормування і контролювання шкідливих викидів автомобільних двигунів.
- 1.4. Система нейтралізації відпрацьованих газів.

1.1. Шкідливі викиди автомобілів та їх дія на навколишнє середовище

У ХХ ст. виникло нове небезпечне джерело забруднення атмосфери – теплові двигуни. Інтенсивний розвиток автомобілебудування у всьому світі після Другої світової війни сприяв значному за своїми наслідками забрудненню повітря відпрацьованими газами, особливо небезпечному у містах і промислових центрах, а також на територіях проходження шляхів сполучення. Поряд з промисловістю автомобільний транспорт є основним забруднювачем атмосфери. Так, у США частка автомобілів у викидах токсичних сполук в атмосферу складає 60%, у країнах Європи – 30–40% [13].

У процесі експлуатації автомобільні двигуни викидають в атмосферу речовини, що негативно впливають на стан атмосфери, організм людини, тваринний і рослинний світ, навколишні споруди й предмети. Джерелами шкідливих викидів двигуна є відпрацьовані гази, картерні гази, випари з системи живлення і втрати палива, оливи, охолоджуючі рідини.

Шкідливі викиди автомобільних двигунів поділяють на три групи [5]:

екологічно нейтральні, що не порушують фізичних властивостей атмосфери;

неядовиті, екологічно активні, що впливають на фізичні властивості атмосфери;

ядовиті, токсичні, що згубно впливають на організм людини, тваринний і рослинний світ.

До екологічно нейтральних речовин належать азот, а також незначна кількість водню і кисню, що з тих чи інших причин не брали участі в реакції окислення палива.

До речовин, що порушують фізичні властивості атмосфери, належать усі трьохатомні та складніші гази, а також двохатомні, що складаються з різних атомів, і які поглинають теплове випромінювання Сонця. Основними з них є вуглекислий газ (CO_2) і пари води (H_2O), кількість яких складає 4,5 кг на кілограм спаленого палива. Значні викиди в атмосферу CO_2 і H_2O помітно впливають на її стан і кліматичні умови на земній кулі.

Групу токсичних речовин складають:

продукти неповного згорання палива, що містять вуглець (оксид вуглецю CO , альдегіди RCHO і їм подібні, численна група вуглеводнів C_nH_m , сажа C);

речовини, що містять азот (оксиди азоту NO і NO_2 , аміак NH_3 , гідразин NH_4 тощо);

продукти окислення домішок і присадок до палива і олив (сірчаний ангідрид SO_2 , сірководень H_2S , оксиди свинцю, оксиди інших антидетонаторів і протидимних присадок).

Дані про склад відпрацьованих газів карбюраторного та дизельного двигунів наведені в таблиці 1 [7].

Дія токсичних компонентів відпрацьованих газів на людський організм різна. Малі концентрації токсичних речовин викликають подразнення слизової оболонки, нудоту, головокружіння, великі – серйозні порушення функцій організму та навіть смерть. Після обмеженої за часом і інтенсивністю дії більшості токсичних речовин організм здатний відновити свої функції. Вийняток складають з'єднання свинцю і високомолекулярні поліциклічні вуглеводні (найбільш активний бензопірен), які накопичуються в організмі і стимулюють розвиток злоякісних пухлин. Про ступінь дії токсичних речовин на організм людини можна судити за гранично допустимими концентраціями цих речовин в атмосфері (таблиця 2).

Таблиця 1

Склад відпрацьованих газів двигунів

Найменування компонента	Межі концентрації компонентів у неохолоджених відпрацьованих газах	
	Карбюраторний двигун	Дизель
Азот	74 – 77 %	76 – 78 %
Кисень	0,2 – 0,8 %	2 – 18 %
Водяна пара	3,0 – 3,15 %	0,5 – 10 %
Вуглекислий газ	5,0 – 12,0 %	1,0 – 12,0 %
Вуглеводні	0,2 – 3,0 %	0,01 – 0,5 %
Оксид вуглецю	0,1 – 10 %	0,01 – 0,3 %
Оксид азоту	0 – 0,6 %	0,005 – 0,2 %
Альдегіди	0 – 0,2 %	0 – 0,05 %
Окиси сірки	0 – 0,003 мг/м ³	0 – 0,015 мг/м ³
Сажа	0 – 100 мг/м ³	0 – 2000 мг/м ³
Бензопірен	0 – 25 мг/м ³	0 – 10 мг/м ³
Сполуки свинцю	0 – 60 мг/м ³	-

Таблиця 2

Гранично допустимі концентрації токсичних речовин

Речовина	Гранично допустима концентрація, мг/м ³		
	У повітрі робочої зони	Середньодобова в атмосфері населених пунктів	Максимальна разова
Оксид вуглецю	20,0	3,0	5,0
Окисли азоту	2,0	0,04	0,085
Вуглеводні	–	1,5	5,0
Бензин	100	–	–
Окисли сірки	10,0	0,05	0,5
Свинець	0,01	0,0003	–
Бензопірен	0,000015	0,000001	–

Шкідливий вплив викидів автомобіля на рослинний світ спостерігається у зниженні врожайності сільськогосподарських культур, погіршенні якості кормових рослин, що впливає на якість м'ясомолочної продукції, зниженні якості садових культур. Лісовому господарству завдаються значні збитки через відмирання цілих ділянок лісів, придорожніх лісосмуг, зменшенні приросту деревини, підвищенні чутливості рослин до перепадів температур, хвороб.

Властивість свинцю накопичуватися у рослинах потребує обмеження у використанні на корм худобі трави, вирощеної вздовж автомагістралей, у зв'язку з можливою високою концентрацією свинцю у кормовій масі. Небезпечні для рослин окисли азоту, які руйнують листя рослин, і двоокис сірки, який підвищує кислотність ґрунтів і вражає рослини навіть при малих концентраціях в атмосфері.

Відпрацьовані гази автомобільних двигунів наносять значні збитки комунальному господарству міст. Підвищена концентрація окислювачів в атмосфері є причиною передчасних руйнувань металевих конструкцій, бетону, каміння. Свідченням є архітектурні пам'ятники в містах Західної Європи які за останні півстоліття “постаріли” більше, ніж за весь час до ери автомобіля.

1.2. Показники токсичності автомобільних двигунів

Концентрація токсичних речовин у відпрацьованих газах. Високі концентрації компонентів оцінюють у процентах за об'ємом (% об), малі – у мг/л, (г/м³), або кількістю частинок на мільйон (млн⁻¹). Але концентрація токсичних компонентів у відпрацьованих газах ще не дає повної характеристики токсичності двигуна. Так, концентрація оксиду вуглецю на режимі холостого ходу, як правило, найбільша, хоча загальна кількість відпрацьованих газів невелика.

Викиди і-го компонента двигуном визначаються з урахуванням кількості відпрацьованих газів, що виділяються за одиницю часу

$$G_i = C_i Q_{\text{вг}}, \text{ г/год},$$

де C_i – концентрація і-го компонента, г/м³; $Q_{\text{вг}}$ – кількість відпрацьованих газів, м³/год.

Питомі викиди токсичних компонентів

$$q_i = G_i / N_e, \text{ г/кВт год},$$

де N_e – ефективна потужність двигуна, кВт.

Викиди за пробіг оцінюють кількість викидів двигуна за одиницю пробігу

$$Q_i = G_i / V_a, \text{ г/км},$$

де V_a – швидкість руху автомобіля, км/год.

1.3. Нормування і контролювання шкідливих викидів автомобільних двигунів

Першим тривожним сигналом, що сповістив про шкідливість відпрацьованих газів, було явище смогу та погіршення стану здоров'я населення у штаті Каліфорнія (США). Було встановлено, що в специфічних кліматичних умовах цього району вказані явища значною мірою пов'язані з відпрацьованими газами автомобілів.

Перші юридичні документи, які обмежують допустиму концентрацію шкідливих компонентів у відпрацьованих газах, що викидаються в атмосферу двигунами, були розроблені в 1959 р. у США на основі каліфорнійського досвіду і поширювалися на легкові автомобілі. Починаючи з 1969 р., у багатьох європейських країнах також були введені закони, що обмежують токсичність відпрацьованих газів. Необхідність дотримання норм, установлених цими законами, змусила виробників автомобілів ввести суттєві зміни в конструкцію двигунів, у результаті чого рівень викидів основних токсичних компонентів відпрацьованих газів зменшився в кілька разів.

Номенклатура речовин, на які вводилися гранично допустимі норми викидів, визначалася за їх кількістю, що попадала в повітря з урахуванням впливу на організм людини. Отже, першочергові обмеження були встановлені на викиди оксиду вуглецю, вуглеводнів і сажі. Але згодом виявилось, що заходи, які стали застосовувати в автомобілебудуванні для зменшення викидів оксиду вуглецю і вуглеводнів, призвели до зростання викидів оксидів азоту. Якщо врахувати, що оксиди азоту в 75 разів токсичніші за оксид вуглецю, то сумарна токсичність викидів за цей період зросла в 1,8 раза. Обмеження на вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту були введені в 70 - их роках.

Сьогодні у більшості країн нормованими складовими токсичних речовин у відпрацьованих газах бензинових двигунів є оксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту, а для дизелів - ті ж компоненти і сажа.

Однак незадовільний стан атмосферного повітря, особливо у великих промислових центрах, що призводить до росту захворювань, а також перспектива глобальних ускладнень в природі (кислотні дощі, потепління клімату Землі) ставлять питання про необхідність обмежити викиди ще ряду речовин, що містяться у відпрацьованих газах автомобілів. Зокрема викиди вуглеводневих сполук канцерогенної групи, твердих частинок, сірки в паливі, а також вуглекислого газу.

Як встановлено спеціалістами, найбільшу небезпеку для людини мають так звані поліциклічні ароматичні вуглеводні, що відрізняються високою канцерогенністю і від яких організм людини не самоочищається. Вони, накопичуючись в організмі до критичних концентрацій, стимулюють утворення злоякісних пухлин. Найбільш небезпечним з них є бензопірен.

Другим ненормованим у багатьох країнах шкідливим компонентом відпрацьованих газів є дисперсні частинки, під якими розуміють не тільки сажу, а й інші вуглеводневі частинки, що утворюються при горінні палива в циліндрах (аерозолі оливи та незгорілого палива, продукти зношування двигуна тощо).

Дисперсні частинки небезпечні не тільки самі по собі, але й тим, що здатні на своїй поверхні адсорбувати важкі ароматичні вуглеводні, в тому числі бензопірен. У зв'язку з цим в останні роки при обмеженні димності автомобілів з дизелями орієнтуються на обмеження викидів не тільки сажі, але й взагалі дисперсних частинок. Наприклад, у США в 1988 році введена норма граничних викидів вантажними автомобілями дисперсних частинок на рівні 0,82 г/кВт·год. У 1991 році цей рівень знижено до 0,34 г/кВт·год, а з 1994 року зменшено ще в 2,5 раза. Країни Західної Європи у 1992 році також ввели обмеження на викиди твердих частинок.

Вміст вуглекислого газу у відпрацьованих газах також раніше не нормувався, так як він не токсичний. Але так як збільшення його кількості в атмосфері сприяє виникненню так званого “парникового ефекту”, уже на міжнародній конференції з питань атмосфери (1988 р.) була прийнята

рекомендація: до 2005 року зменшити викиди вуглекислого газу на 20%, а до середини наступного століття – на 50%.

Норми, прийняті в різних країнах, відрізняються умовами, для яких встановлюються граничні викиди токсичних компонентів, а також допустимими величинами викиду окремих компонентів. Кількість викидів залежить від способу керування автомобілем і умов руху. Тому для перевірки токсичності відпрацьованих газів були розроблені так звані випробувальні цикли, які відтворюють середні режими руху автомобіля. Це дозволило контролювати і порівнювати викиди відпрацьованих газів різних типів автомобілів. На даний час використовуються три основних методи оцінки токсичності двигунів за випробувальними циклами: американський, японський і європейський. Так як дані методи розроблені з врахуванням особливостей руху автомобілів у кожному з регіонів і відрізняються тривалістю циклів і режимами роботи двигунів, то величини допустимих концентрацій компонентів порівнювати не можна.

Згадані вище методи оцінки токсичності автомобілів використовуються на автомобільних заводах для оцінки і контролю продукції, що випускається. Дані методи недоступні для автотранспортних підприємств і не придатні для оперативного контролю автомобілів на вулицях міст. Для цього розроблені методи досліджень автомобілів і двигунів, які передбачають спрощену їх оцінку з використанням портативних швидкодіючих газоаналізаторів і димомірів.

Перевірка вмісту шкідливих компонентів у відпрацьованих газах автомобілів, оснащених бензиновими та дизельними двигунами, здійснюється відповідно до державних стандартів (ДСТУ). Стандарти визначають норми й методи вимірювання вмісту шкідливих компонентів у відпрацьованих газах автомобілів.

Так, у бензинових двигунах фактичний вміст CO і C_nH_m визначають у випускній трубі автомобіля на глибині 300 мм від її зрізу в режимі холостого ходу і при підвищеній частоті обертання вала двигуна ($2000 \text{ об/хв} - 0,8 n_{\text{ном}}$).

Вимірювальними приладами при проведенні випробовувань є газоаналізатор і тахометр. Стаціонарні газоаналізатори використовують в основному для лабораторних досліджень. В умовах експлуатації автомобілів перевірку здійснюють портативними газоаналізаторами.

Більшість базових моделей газоаналізаторів західних фірм вимірюють чотири газових компоненти (CO , CO_2 , CH , O_2), а також температуру оливи, частоту обертів колінчастого вала та коефіцієнт надлишку повітря (якість пальної суміші).

Промислово розвинені країни взяли курс на жорсткіші вимоги до рівня забруднення довкілля дизельними двигунами. Нині тут діють стандарти на гранично допустимі норми викидів оксидів азоту й вуглецю, вуглеводнів і сажі.

У таблиці 3 наведено норми токсичності відпрацьованих газів, встановлені Європейським співтовариством для бензинових та дизельних двигунів.

Таблиця 3

Норми граничної токсичності відпрацьованих газів

Норми токсичності	Бензиновий двигун			Дизель			
	CO	CH	NO _x	CO	NO _x	CH+NO _x	Сажа
Євро III, з 2000 р.	—	2,3	0,2	0,15	0,64	0,5–0,56	0,05
Євро – IV, з 2005 р.	—	1,0	0,1	0,08	0,5	0,25–0,30	0,025

Контроль за вмістом шкідливих компонентів у відпрацьованих газах автомобільних двигунів повинен здійснюватися: в АТП при проведенні ТО-2 та після ремонту вузлів і агрегатів, що впливають на токсичність відпрацьованих газів, а також за заявками водіїв; під час технічних оглядів автомобілів державного й особистого користування; на авторемонтних підприємствах при випуску автомобілів з ремонту; на автомобільних заводах після заводського обкатування.

1.4. Система нейтралізації відпрацьованих газів

Одним з основних методів, що забезпечує ефективне зменшення викидів шкідливих речовин, є фізико-хімічна обробка відпрацьованих газів. Системи каталітичної, термічної і рідинної нейтралізації відпрацьованих газів, що використовуються як додаткове обладнання, дозволяють без значних змін у конструкції двигуна суттєво знизити викиди шкідливих речовин. Поширення сьогодні отримали трикомпонентні каталітичні нейтралізатори, що дозволяють нейтралізувати три основні токсичні компоненти – оксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту. Каталітична дія нейтралізаторів ґрунтується на безполуменовому поверхневому окисленні токсичних речовин у присутності каталізатора, що прискорює хімічну реакцію. Процес окислення проходить під час проходження відпрацьованих газів через шар носія з нанесеним на нього каталізатором.

Перші серійні нейтралізатори в Європі почали застосовуватися на автомобілях у 1985 році. Трикомпонентний нейтралізатор дозволяє зменшити кількість шкідливих викидів на 90%. Кожен нейтралізатор щороку в середньому запобігає викиду в атмосферу 140 кг оксиду вуглецю, 28,5 кг гідрокарбонатів і 25 кг оксиду азоту.

Каталізатор складається з крихтих стільникоподібних каналів, розташованих паралельно один до одного в керамічній матриці з жаростійкого магнезіалюмінієвого силікату. На один квадратний сантиметр перерізу припадає приблизно 65 таких каналів. Їхні стінки вкриті шаром оксиду алюмінію, що має активну поверхню, на якій і відбуваються хімічні реакції. Площа поверхні каналів сягає 10000 м². Очищувальна поверхня містить також покриття з дорогоцінних металів (платина і родій у співвідношенні 5:1). Покриття важить від 2,5 до 3 грамів, це безпосередній каталізатор, який сприяє перетворенню газів. Збагатившись киснем (процес окислення), токсичні оксиди вуглецю і вуглеводні перетворюються у нетоксичні вуглекислий газ і водяну пару.

Перш ніж нейтралізувати оксиди азоту, необхідно знизити ступінь їх окислення, для чого потрібен допоміжний реагент. Конструктори розв'язали цю

проблему, використовуючи одну з хімічних особливостей оксиду вуглецю, що міститься у відпрацьованих газах. Проходячи крізь градки, вкриті каталізатором, він реагує з оксидом азоту, при цьому утворюється азот – фактично нешкідливий газ, і вивільняється кисень, необхідний для окислення вуглеводнів.

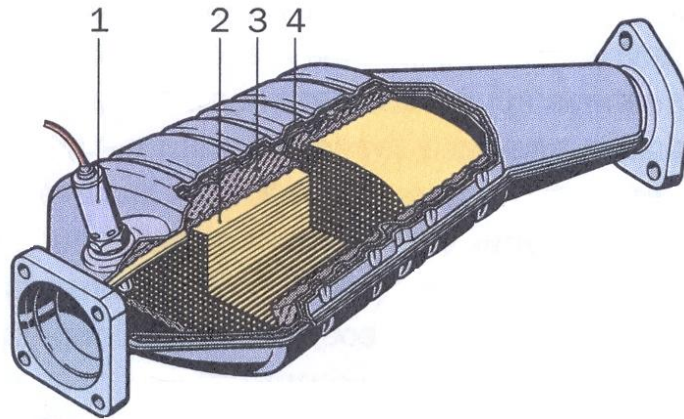


Рис. 1.1. Двошаровий трикомпонентний каталітичний нейтралізатор:
1 – датчик концентрації кисню (λ – зонд); 2 – монолітний блок-носіє (матриця);
3 – монтажний елемент; 4 – двохоболонкова теплоізоляція



Рис. 1.2. Керамічна та металева матриці нейтралізатора

Однак нейтралізація вихлопу відбувається з максимальною ефективністю лише за умови, що суміш, яка згоряє у циліндрах, є нормальною (на 1 кг палива припадає 14,7 кг повітря). Якість пальної суміші характеризується коефіцієнтом надміру повітря, який технічні експерти позначають грецькою літерою λ (лямбда). Для нормальної суміші $\lambda=1$. Якщо повітря в суміші надто мало (тобто мало кисню), тоді СН і СО не повністю окислюються (згорають). Якщо ж повітря надто багато, то не забезпечується розклад NO_x на кисень і азот. Тому з'явилося нове покоління двигунів, у яких склад пальної суміші регулюється

постійно для отримання точної відповідності коефіцієнта надміру повітря значенню $\lambda=1$.

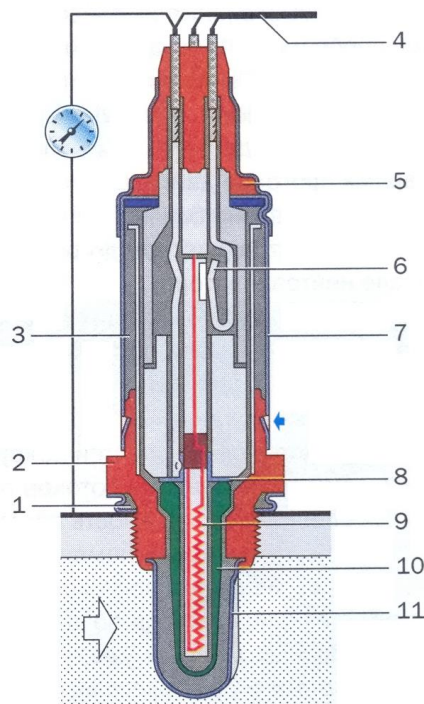


Рис. 1.3. Будова датчика концентрації кисню:

- 1 – ущільнювальне кільце; 2 – корпус; 3 – керамічний ізолятор; 4 – провідники;
5 – ущільнювальна манжета; 6 – контакт провідника живлення нагрівача; 7 – зовнішній захисний екран з отворами для зовнішнього повітря; 8 – знімач електричного сигналу;
9 – нагрівач; 10 – керамічний наконечник; 11 – захисний екран з отворами для відпрацьованих газів

Для контролю за складом пальної суміші в систему нейтралізації вводять датчик концентрації тиску, який ще називають лямбда-зонд (рис. 1.3). Він розташований у випускній системі перед нейтралізатором і заміряє вміст кисню у відпрацьованих газах. Разом з двигуном і його паливною системою лямбда-зонд утворює замкнене контрольне коло. Інформація про зміну складу відпрацьованих газів надходить від лямбда-зонду в електронний блок системи живлення, яка відповідно змінює кількість палива у пальній суміші.

Принцип роботи датчика полягає у здатності пропускати через себе іони кисню. Якщо вміст кисню на активних поверхнях датчика (одна з яких контактує з атмосферою, а друга з відпрацьованими газами) значно відрізняється, відбувається різка зміна напруги на його виході (рис. 1.4).

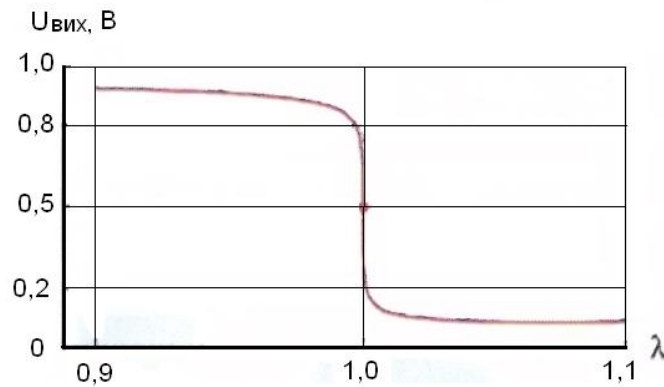


Рис. 1.4. Характеристика датчика концентрації кисню

Каталітичні нейтралізатори мають високу надійність. Фірми-виготовлювачі гарантують нормальну роботу своїх виробів протягом 80–100 тис. км пробігу. Для забезпечення нормальної і тривалої роботи нейтралізатора необхідні точне регулювання двигуна й робота виключно на неестильованому бензині.

Каталітичні нейтралізатори застосовують і на дизелях. Але перешкодою до їх масового впровадження на даному типі двигунів є високий вміст у відпрацьованих газах недоокислених частинок вуглецю – сажі.

Сучасний каталітичний нейтралізатор для дизеля складається з керамічної матриці, комірчаста структура якої відповідає особливостям умов експлуатації дизеля. З метою зниження опору потокові газів число комірок на 1 см² зменшено, порівняно з бензиновими нейтралізаторами, з 65 до 50. Відповідно зросла площа їх поперечного перерізу. Середній каталітичний нейтралізатор окислювального типу має об'єм 1,8 літра і містить 3,18 г платинового покриття, яке сприяє перетворенню вуглеводнів і оксиду вуглецю у воду і вуглекислий газ відповідно. Вміст сажі знижується до 0,08 г/км, що відповідає нормам. Але такий нейтралізатор може більш–менш нормально функціонувати лише за умови, що робочий об'єм дизеля не перевищує 2 літри. У всіх інших випадках необхідний додатковий сажовловлювач.

Як і каталітичний нейтралізатор, сажовловлювач складається з керамічної матриці, що містить велику кількість прямокутних каналів. Відпрацьовані гази

під тиском проникають крізь пори у стінках. Частинки сажі діаметром понад 0,0001 см затримуються фільтром. Сажовловлювач затримує 85% сажі. Однак у ході експлуатації фільтр швидко засмічується. Сажа починає заважати вільному проходженню газів і опір фільтра суттєво зростає, що спричиняє зростання витрати палива та зниження потужності двигуна.

Єдиний поки що шлях розв'язання цієї проблеми – підвищення температури відпрацьованих газів до 480°C і вище, тоді вуглець повністю згорає і переходить у газоподібний стан. Однак середня температура згорання у дизеля недостатньо висока, тому ідуть пошуки методу, що дозволить досягти бажаного результату.

Прикладом сучасного механізму очищення відпрацьованих газів дизеля є електронна система керування дизельним двигуном EDC (electronic diesel control), розроблена компанією Bosch [10]. Її конструкція (рис. 1.5) включає в себе багатокomпонентну систему випуску відпрацьованих газів, у якій передбачено сім датчиків: два – λ -зонди, два – температурних, два тиску і один – рівня сажі, а також три очищувальних елементи – каталітичний нейтралізатор, каталізатор-накопичувач і сажовий фільтр накопичувального типу. Датчики в системі вихлопу дозволяють оптимізувати процес сумішоутворення і горіння.

З допомогою датчиків тиску на вході та виході з сажового фільтра EDC контролює ступінь його забруднення. Ефективність роботи каталізатора оцінюється за показами двох λ -зондів (на вході та виході). Корекція роботи систем двигуна здійснюється на основі показів усіх датчиків. Каталітичний нейтралізатор перетворює токсичні складові – NO, NO₂, CO, CH – в нетоксичні і малотоксичні з'єднання – H₂O, N₂, CO₂, а каталізатор-накопичувач виконує функції додаткового очищення від оксиду азоту (NO₂) і попередньо від частинок сажі.

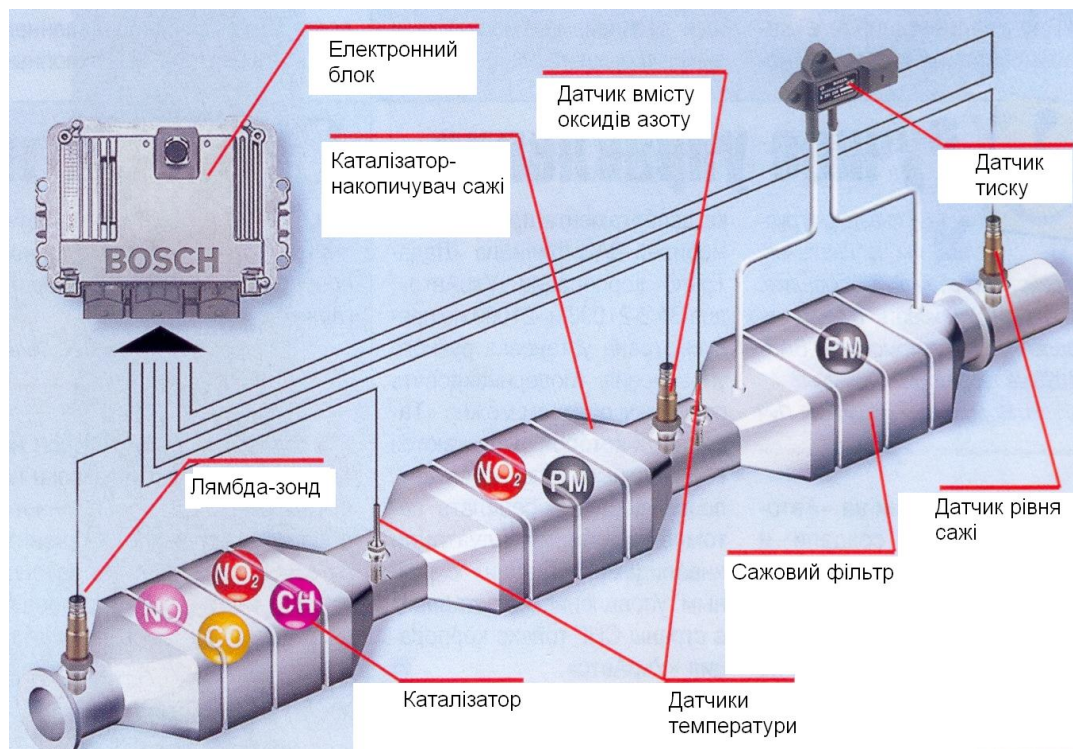


Рис. 1.5. Складові системи очищення вихлопу дизеля з EDC

Тема 2. Система впорскування палива “К-Jetronic”

План

- 2.1. Класифікація систем впорскування легкого палива.
- 2.2. Загальні відомості про систему “К-Jetronic”.
- 2.3. Принцип дії, головна дозувальна система й система холостого ходу.
- 2.4. Система пуску.
- 2.5. Агрегати й вузли системи.
- 2.6. Електрична схема системи впорскування.
- 2.7. Заміна форсунок.

2.1. Класифікація систем впорскування легкого палива

Система впорскування палива дає змогу оптимізувати процес сумішоутворення, тобто впорскування може здійснюватися краще за місцем, часом і потрібною кількістю палива.

Впорскувальні паливні системи класифікують за різними ознаками.

За місцем підведення палива розрізняють:

- центральне одноточкове впорскування;
- розподілене впорскування;
- безпосереднє впорскування у циліндри.

За способом подавання палива впорскування буває:

- неперервним;
- переривчастим.

Крім того, ці системи розрізняють за типом механізмів, що дозують паливо:

- з плунжерними насосами;
- з розподільниками;
- з форсунками;
- з регуляторами тиску.

Регулювання кількості суміші може бути:

- пневматичним;
- механічним;
- електронним.

Регулювання складу суміші може здійснюватися за:

- розрідженням у впускній системі;
- кутом повороту дросельної заслінки;
- витратою повітря.

Впорскування дає змогу точніше розподілити паливо в циліндрах. У разі розподіленого впорскування склад суміші в різних циліндрах відрізняється тільки на 6–7%, а в разі живлення від карбюратора — на 11–17%.

Завдяки відсутності додаткового опору потокові повітря на впуску у вигляді карбюратора з дифузором, а отже, вищому коефіцієнту наповнення циліндрів можна дістати вищу літрову потужність двигуна.

Впорскування дає змогу використовувати більше перекриття клапанів для кращого продування камери згоряння чистим повітрям, а не сумішшю. Внаслідок кращого продування й більшої рівномірності складу суміші в циліндрах знижується температура стінок циліндрів, днищ поршнів і випускних клапанів, що, своєю чергою, дає змогу зменшити потрібне октанове число палива на 2–3 одиниці, тобто підвищити ступінь стискання без загрози детонації. Крім того, знижується утворення оксидів азоту під час згоряння палива, поліпшуються умови мащення дзеркала циліндра.

Проте (як і в карбюраторному двигуні) треба, щоб склад суміші у процесі впорскування палива узгоджувався з режимом роботи двигуна (пуск, холостий хід, малі й максимальні навантаження); у разі різкого відкриття дросельної заслінки має забезпечуватися збагачення суміші.

2.2. Загальні відомості про систему “K-Jetronic”

Система “K-Jetronic” фірми BOSCH — це механічна система постійного впорскування палива.

Паливо під тиском надходить до форсунок, установлених перед впускними клапанами у впускному колекторі. Форсунки неперервно розпилюють паливо, тиск якого (витрата) залежить від навантаження двигуна (розрідження у впускному колекторі) та температури охолоджуючої рідини.

Кількість повітря, що підводиться, постійно вимірюється витратоміром, а кількість упорскуваного палива строго пропорційна (1:14,7) кількості повітря, яке надходить, і регулюється дозатором-розподільником палива. Дозатор-розподільник, або регулятор складу й кількості робочої суміші, складається з регулятора кількості палива й витратоміра повітря. Кількість палива регулюється розподільником, що керується витратоміром повітря та регулятором керуючого тиску. Своєю чергою, дія регулятора керуючого тиску визначається розрідженням у впускному трубопроводі, а також температурою рідини в системі охолодження двигуна.

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

Паливний насос 4 (рис. 2.1) забирає паливо з бака 1 і подає його під тиском близько 0,5 МПа через акумулятор 3 та фільтр 2 до каналу А дозатора-розподільника 8. У разі звичайного карбюраторного живлення керування двигуном здійснюється натисканням на педаль “газу“, тобто повертанням дросельної заслінки, яка регулює кількість робочої суміші, що подається у циліндри, а в системі впорскування дросельна заслінка регулює тільки подачу чистого повітря.

Для забезпечення потрібного співвідношення між кількістю повітря, що надходить, та кількістю впорскуваного палива використовуються витратомір повітря з напірним диском 10 і дозатор-розподільник палива 8.

Насправді витратомір не вимірює, буквально, витрату повітря, а просто його напірний диск переміщується “пропорційно“ витраті повітря. Назва “витратомір“ пояснюється тим, що в цьому пристрої використано принцип дії фізичного приладу, який називається трубкою Вентурі й застосовується для вимірювання витрати газів.



Витратомір повітря системи впорскування палива є прецизійним механізмом. Його напірний диск дуже легкий (товщина — приблизно 1 мм, діаметр — 100 мм) і кріпиться до важеля, з іншого боку якого (див. рис. 2.1) встановлено балансир, що зрівноважує усю систему. Оскільки вісь обертання важеля лежить в опорах з мінімальним тертям (підшипники кочення), диск дуже “чутливо“ реагує на зміну витрати повітря.

На осі обертання важеля напірного диска 10 закріплено другий важіль з роликом. Останній упирається безпосередньо в нижній кінець плунжера дозатора-розподільника. Використання другого важеля з регулювальним гвинтом дає змогу змінювати відносне положення важелів, а отже, й розташування напірного диска та упорного ролика (плунжера розподільника), тим самим регулюючи склад робочої суміші. Положення гвинта регулюється на заводі-виготовлювачі. На деяких автомобілях, наприклад BMW-520i, BMW-

525i, BMW-528i, BMW-535i, цим гвинтом можна у разі потреби відрегулювати вміст CO у відпрацьованих газах (суміш збіднюється загвинчуванням гвинта).

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

Із дозатора-розподільника паливо каналами Е подається до форсунок упорскування 6 (див. рис. 2.1). Переміщення напірного диска спричиняє переміщення плунжера розподільника (напрями переміщення на рис. 2.1 вказано стрілками). Взаємозв'язок переміщень і диференціальні канали забезпечують певне співвідношення повітря та бензину в робочій суміші. Для забезпечення відповідності складу робочої суміші режиму роботи двигуна в системі впорскування з боку верхньої частини плунжера (див. рис. 2.1) в розподільник каналом С підводиться керуючий тиск, який визначається регулятором 5 і залежить від режиму роботи двигуна. У разі збільшення тиску опір переміщенню плунжера зростає — суміш збіднюється, а у разі зменшення, навпаки, опір переміщенню плунжера спадає — суміш збагачується.

Один із режимів роботи автомобільного двигуна — різке відкриття дросельної заслінки. У карбюраторних двигунах потрібне збагачення суміші здійснюється прискорювальним насосом (без насоса, оскільки повітря більш рухливе, відбувалося б збіднення її). У системах впорскування збагачення забезпечується майже миттєвою реакцією напірного диска.

Робота бензинового електричного насоса 4 (див. рис. 2.1) не залежить від частоти обертання колінчастого вала двигуна. Насос умикається, якщо ввімкнено запалювання й обертається колінчастий вал. Оскільки насос має двократний запас за тиском і десятикратний — за подачею, у системі впорскування потрібен регулятор тиску живлення. Цей регулятор 9 (див. рис.

2.1) вбудовано в дозатор-розподільник і сполучено з каналом А (підведення палива); каналом В зливається зайве паливо в бак, а канал D сполучено з регулятором керуючого тиску 5.

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

2.4. Система пуску

Після пуску двигуна електронасос 4 (рис. 2.2) практично миттєво створює тиск у системі. Якщо двигун прогрітий (до температури не менше ніж 35°C), то термореле 6 вимикає пускову форсунку 11 з електромагнітним керуванням. У момент пуску холодного двигуна та протягом певного часу пускова форсунка впорскує у впускний колектор додаткову кількість палива.

Тривалість роботи пускової форсунки визначає термореле залежно від температури охолоджуючої рідини. Клапан 8 забезпечує підведення до двигуна додаткової кількості повітря для підвищення частоти обертання колінчастого вала холодного двигуна на холостому ході. Додаткове збагачення паливоповітряної суміші під час пуску й прогрівання холодного двигуна досягається за рахунок вільнішого піднімання плунжера дозатора-розподільника завдяки тому, що регулятор керуючого тиску 5 знижує над плунжером протидіючий тиск повернення.

Отже, якщо двигун уже прогріто, то живлення здійснюється тільки через головну дозувальну систему та систему холостого ходу (див. рис. 2.1). При цьому термореле 6 (див. рис. 2.2), пускова електромагнітна форсунка 11 і клапан додаткового повітря 8 не працюють. Під час пуску й прогрівання холодного двигуна всі зазначені елементи системи впорскування починають

працювати, забезпечуючи надійний пуск і стабільну роботу двигуна на холостому ході.

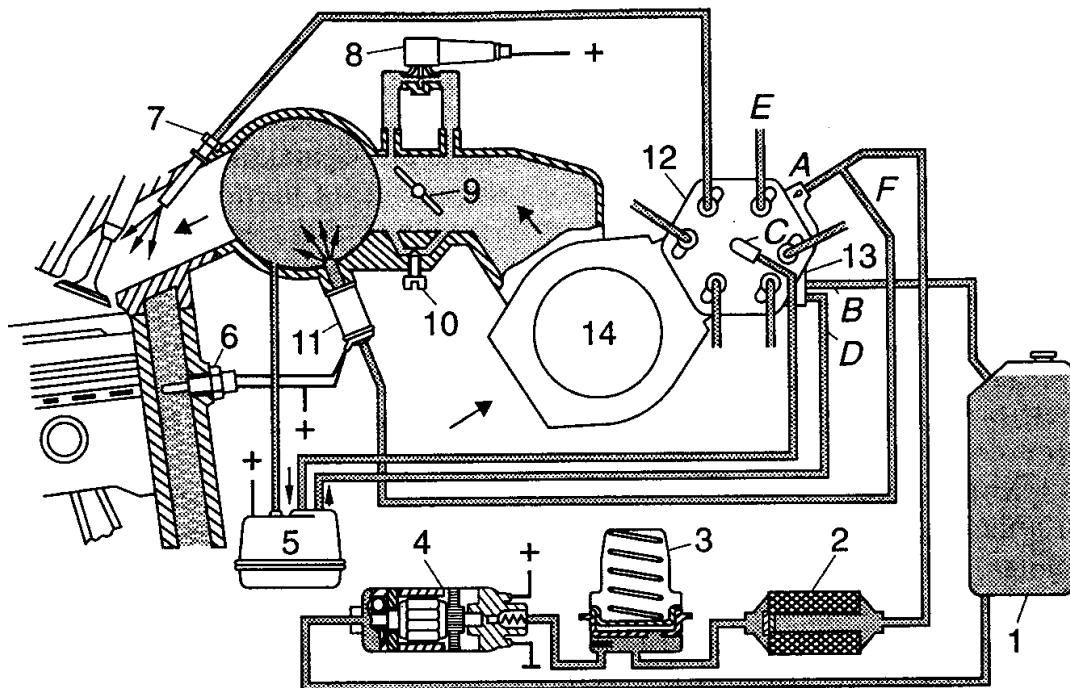


Рис. 2.2. Схема системи пуску:

1 — паливний бак; 2 — паливний фільтр; 3 — нагромаджувач палива; 4 — паливний електронасос; 5 — регулятор керуючого тиску; 6 — термореле; 7 — форсунка впорскування; 8 — клапан додаткового повітря; 9 — дросельна заслінка; 10 — регулювальний гвинт холостого ходу; 11 — пускова електромагнітна форсунка; 12 — дозатор-розподільник; 13 — регулятор тиску живлення; 14 — витратомір повітря; A—P — паливні канали (A—E — те саме, що й на рис. 1.1; P — підведення палива до пускової форсунки з електромагнітним керуванням)

2.5. Агрегати й вузли системи

Паливний електронасос 4 (див. рис. 2.2) — ротаційний роликовий одно- або багатосекційний. Від ротаційного лопатевого роликовий насос відрізняється тим, що замість лопатей у пази ротора встановлено ролики для заміни ковзання лопатей по статору коченням. Для бензонасоса це особливо важливо, оскільки бензин не має мастильної властивості.

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

Паливний насос розташовують як зовні бака, так і безпосередньо занурюють у бензин у баці. За зовнішньою формою насос нагадує котушку запалювання й становить об'єднання агрегату-електродвигуна постійного

струму та власне насоса. Особливість цієї конструкції полягає у тому, що бензин обмиває усі внутрішні деталі електродвигуна: якір, колектор, щітки, статор.

Насос має два клапани: запобіжний, що сполучає порожнини нагнітання й усмоктування, та зворотний, який перешкоджає зливанню палива із системи. Зворотний клапан і демпфірувальний дросель вбудовано в штуцер паливного насоса (рис. 2.3). Демпфер дещо згладжує різке зростання тиску в системі під час пуску паливного насоса (тиск знижується тільки до значення, за якого закриваються клапанні форсунки). Тиск, що розвивається насосом, або тиск у системі, становить приблизно 0,5 МПа; подача насосів за температури 20°C та напруги 12 В — 1,7–2 л/хв; робоча напруга — 7–15 В; максимальне значення сили струму — 4,7–9,5 А.

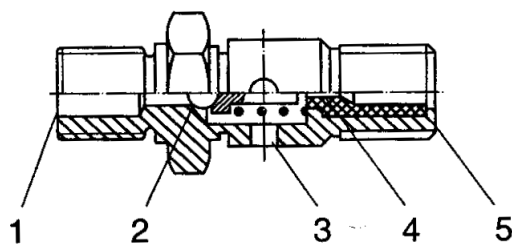


Рис. 2.3. Штуцер паливного насоса:

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

Акумулятор палива 3 (див. рис. 1.2) — це пружинний гідроакумулятор, призначений для підтримання тиску в системі, коли зупинено двигун і вимкнено бензонасос. Підтримання залишкового тиску запобігає утворенню у трубопроводах парових пробок, які ускладнюють пуск двигуна (особливо гарячого).

У системі акумулятор встановлюють за паливним насосом. Він має три порожнини: верхню, де розміщено пружину, середню — накопичувальну (об'ємом 20–40 см³) та нижню з двома каналами (підвідним і відвідним) або з одним, що виконує обидві функції. Верхню й середню порожнини відокремлено гнучкою діафрагмою, а середню й нижню — перегородкою.

Після вмикання паливного насоса середня порожнина крізь пластинчастий клапан у перегородці заповнюється паливом, при цьому діафрагма прогинається вгору до упора, стискаючи пружину. Оскільки бензин, як будь-яка рідина, практично не стискається, найменші витікання після зупинки двигуна (зворотний клапан у насосі, розподільник) призводять до різкого зменшення тиску в системі. Ось тут і починає працювати акумулятор. Пружина, діючи на діафрагму, виштовхує бензин із накопичувальної порожнини крізь дросельний отвір у перегородці.

Коли робочий тиск у системі дорівнює 0,54–0,62 МПа, залишковий тиск через 10 хв після зупинки двигуна становитиме не менше ніж 0,34 МПа, а через 20 хв — 0,33 МПа. Відповідно, якщо робочий тиск у системі дорівнює 0,47–0,52 МПа, то через 10 хв залишковий тиск становитиме 0,18–0,26 МПа, а через 20 хв — 0,16 МПа.

Паливний фільтр 2 (див. рис. 1.2) розташовують за бензонасосом, тому останній не забезпечує захисту від сторонніх частинок у бензині. Об'єм цього фільтра у кілька разів перевищує об'єм застосовуваних фільтрів тонкої очистки бензину. Паливний фільтр подібний на оливний; за умови використання чистого бензину він розрахований на 50 тис. км пробігу автомобіля.

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

Дозатор-розподільник із регулятором тиску живлення (рис. 2.4) дозує й розподіляє паливо, що подається до нього каналом А, між форсунками (інжекторами) циліндрів (канали Е). Переміщення плунжера розподільника відбувається відповідно до переміщення напірного диска витратоміра повітря. Напірний диск, своєю чергою, переміщується відповідно до витрати повітря або відкривання дросельної заслінки.

Плунжер 10 переміщується у гільзі 9 з отворами. Ущільнень у цій парі не передбачено: герметичність забезпечується мінімальними зазорами, точністю

форми та чистотою спряжених поверхонь деталей. Гільза вставляється у корпус із більшим зазором, а ущільнення забезпечується гумовим кільцем, установленим у канавці 1 гільзи.

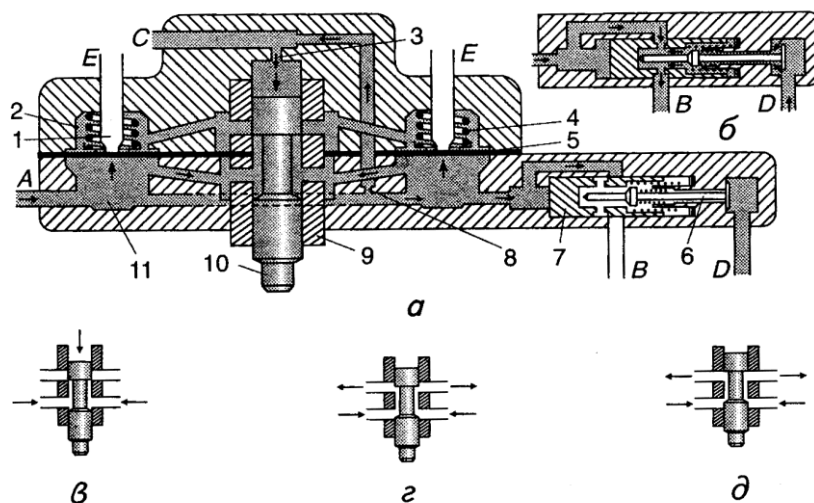


Рис. 2.4. Дозатор-розподільник із регулятором тиску живлення:

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

На плунжер знизу діє важіль напірного диска, зверху — керуючий тиск.

Між розподільником і вихідними каналами Е розташовано диференціальні клапани, розділені гнучкою сталевною діафрагмою 5 на дві камери: верхню та нижню. Нижні камери диференціальних клапанів, що сполучаються кільцевим каналом, перебувають під робочим тиском. На діафрагму 5 знизу діє цей тиск, а зверху — пружина, що спирається одним кінцем у корпус, а іншим — у спеціальне сидло та діафрагму.

Коли паливо надходить у верхню камеру (рис. 2.5), його тиск додається до зусилля пружини, і діафрагма прогинається вниз, збільшуючи прохідний переріз. Унаслідок цього тиск у верхній камері спадає, діафрагма трохи випрямляється й досягається динамічна рівновага.

Постійний тиск палива у системі підтримується регулятором тиску живлення. У разі перевищення тиску поршень 7 (див. рис. 2.4), стискаючи

пружину, переміщується праворуч і дає змогу лишку палива каналом В повернутися у бак.

Коли двигун зупиняється, паливний насос вимикається. Тиск у системі швидко зменшується й стає нижчим від тиску відкриття клапана форсунки. Зливальний отвір закривається за допомогою підпружиненого поршня регулятора тиску живлення.

У регулятор тиску живлення (рис. 2.6) вбудовано штовхальний клапан 3, який відкривається поршнем 1. Штовхальний клапан працює разом із регулятором керуючого тиску.

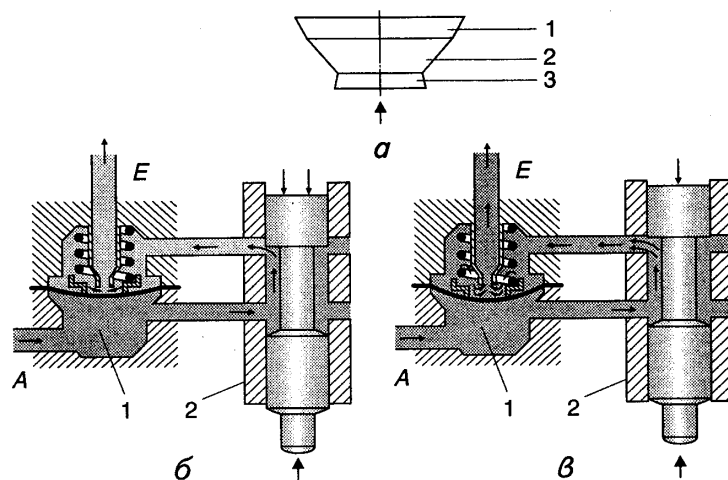


Рис. 2.5. Регулювання складу робочої суміш:

а — напрямний пристрій із зонами переміщення напірного диска (7 — максимальне навантаження; 2 — часткові навантаження; 3 — холостий хід); б — мала доза впорскування палива; в — велика доза (1 — диференціальний клапан; 2 — розподільник; А, Е — паливні канали, див. рис. 1.1)

Регулятор керуючого тиску працює переважно в режимах холодного пуску, прогрівання на холостому ході (рис. 2.7) і повного навантаження. Регулятор має дві діафрагми: верхню 2 та нижню 4. У середній частині верхньої діафрагми 2 є клапан, що перекриває канал D, яким паливо через регулятор тиску живлення повертається у бак (див. рис. 2.4, б).

Біметалева пластинчаста пружина 3 при температурі до 35–40°C прогинає діафрагму 2 вниз, сполучаючи два канали, розташовані над діафрагмою. При цьому стискаються дві циліндричні пружини біля діафрагми 4. Регулятор кріпиться до блоку циліндрів і нагрівається від нього. Біметалева пружина 3

має також електричне підігрівання. Це потрібно для того, щоб у разі ускладненого пуску не “залити” двигун.

Регулятор керуючого тиску без нижньої діафрагми 4 (без підведення вакууму) та внутрішньої циліндричної пружини називається регулятором підігрівання й працює тільки в режимі прогрівання двигуна (рис. 2.7, а).

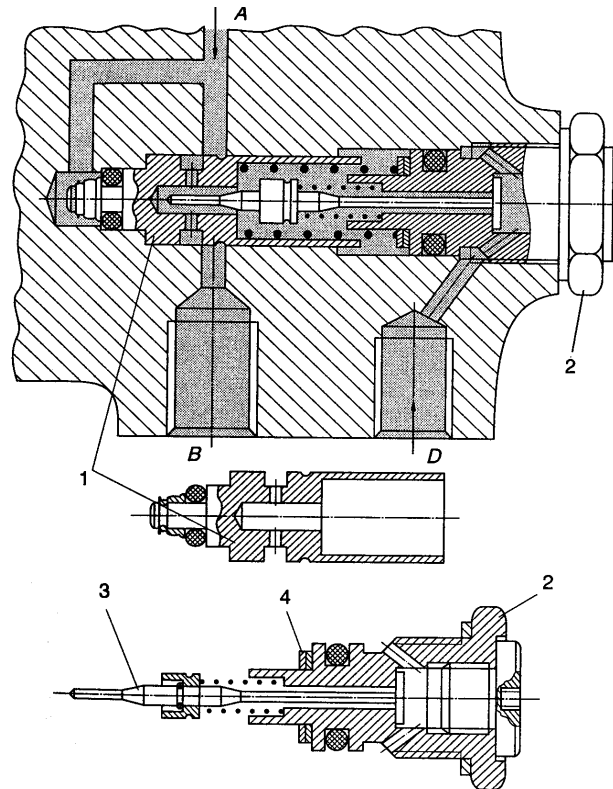


Рис. 2.6. Регулятор тиску живлення:

1 – поршень; 2 – штовхальний клапан у зборі з корпусом; 3 – штовхальний клапан; 4 — регулювальні шайби; А, В, D – паливні канали (див. рис. 1.1)

Пружина 3 прогинає верхню діафрагму 2 вниз, клапан відкривається й сполучає два канали. У міру прогрівання двигуна керуючий тиск збільшується (рис. 2.7, б), оскільки біметалева пружина 3 починає поступово вигинатися вгору, розвантажуючи циліндричні пружини й зменшуючи прогин діафрагми 2 вниз. При температурі 35–40°C пружина 3 повністю звільняє діафрагму й канал зливання D (рис. 2.8, а) закривається.

Положення нижньої діафрагми визначається розрідженням, що підводиться, та атмосферним тиском. На холостому ході й при часткових навантаженнях дросельна заслінка прикрита, тому за нею встановлюється знижений тиск. Нижня діафрагма під дією атмосферного тиску притискається

до верхнього упора (див. рис. 2.7, а та 2.8, а), при цьому внутрішня циліндрична пружина стискається.

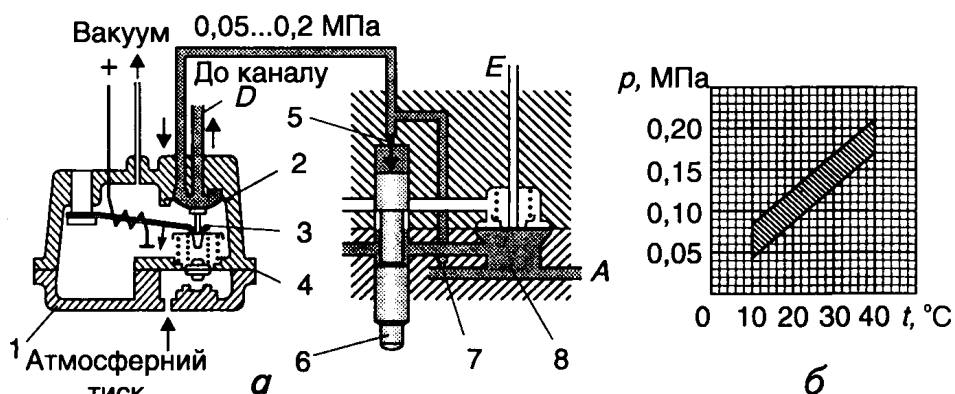


Рис. 2.7. Регулювання складу робочої суміші під час прогрівання двигуна:

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

Коли прогрітий двигун працює у звичайному режимі (часткові навантаження), пластинчаста біметалева пружина вигинається вгору (див. рис. 2.8, а) й на верхню діафрагму вже не діє. Нижня діафрагма під дією атмосферного тиску також притискається до верхнього упора. При цьому внутрішня циліндрична пружина перебуває у стиснутому стані: внизу впирається у діафрагму, вгорі — через клапан верхньої діафрагми — у корпус. На верхню діафрагму знизу діє сумарне зусилля двох пружин, зверху — зусилля, що визначається тиском, який підводиться через дросель 7 (див. рис. 2.7, а) у кільцевий канал над діафрагмою. Зусиллям двох стиснутих пружин визначається максимальне значення керуючого тиску (див. рис. 2.8, а).

У режимі повного навантаження дросельна заслінка відкрита повністю, розрідження за нею зменшується, тобто підвищується тиск. Нижня діафрагма переміщається у крайнє положення до упора (рис. 2.8, б), унаслідок чого зусилля внутрішньої циліндричної пружини різко знижується. Під дією тиску верхня діафрагма прогинається вниз, завдяки чому керуючий тиск знижується й робоча суміш збагачується.

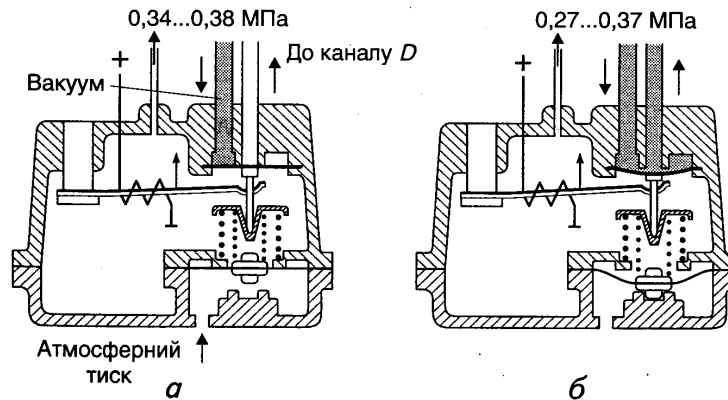


Рис. 2.8. Регулювання складу робочої суміші (двигун прогріто):

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

Пускова форсунка призначається для впорскування у впускний колектор додаткової кількості палива в момент пуску холодного двигуна. Вона працює разом із термореле (тепловим реле часу), яке керує її електричним колом залежно від температури двигуна та тривалості його пуску.

Подача пускових форсунок при тиску 0,45 МПа становить приблизно 85 см³/хв; робоча напруга — 7–15 В; споживана потужність — 3 Вт; кут конуса розпилювання палива — 80°; тривалість упорскування: при температурі –20°С — до 7,5 с, при 0°С — до 5 с, при +20°С — 2 с, при +35 С — не вмикається.

Термореле (рис. 2.9) має нормально замкнені контакти, один з яких з'єднано з “масою“, а інший встановлено на біметалевій пластині. Електричне підігрівання пластини здійснюється через затискач 50 (реле стартера) вимикача запалювання (див. рис. 2.12) або через реле пуску холодного двигуна — післястартове реле. У першому випадку підігрівання працює тільки тоді, коли ввімкнено стартер, в другому — триваліший час. Коли контакти термореле замкнено, відбувається живлення пускової форсунки з електромагнітним керуванням, тобто пускова форсунка відкрита й упорскується додаткова кількість палива.

Тривалість упорскування палива пусковою форсункою становить 1–8 с залежно від температури двигуна (охолоджуючої рідини). За цей час біметалева

пластина через електричне підігрівання деформується настільки, що контакти термореле розмикаються, електроживлення пускової форсунки припиняється, й далі збагачення суміші не відбувається.

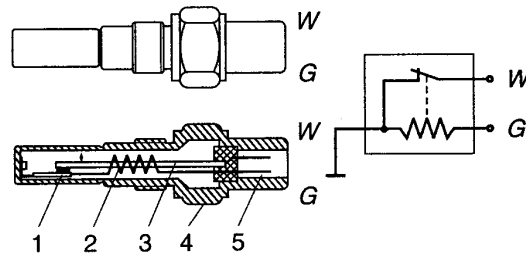


Рис. 2.9. Термореле:

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

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

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

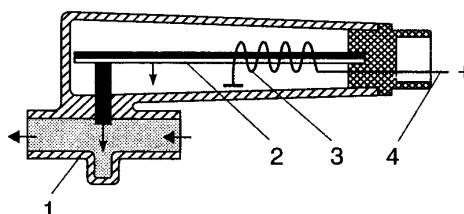


Рис. 2.10. Клапан додаткового повітря:

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

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

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

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

Форсунки впорскування (рис. 2.11) відкриваються автоматично під тиском і не здійснюють дозування палива. Кут конуса розпилювання палива становить приблизно 35° (у пускової форсунки — 80°).

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

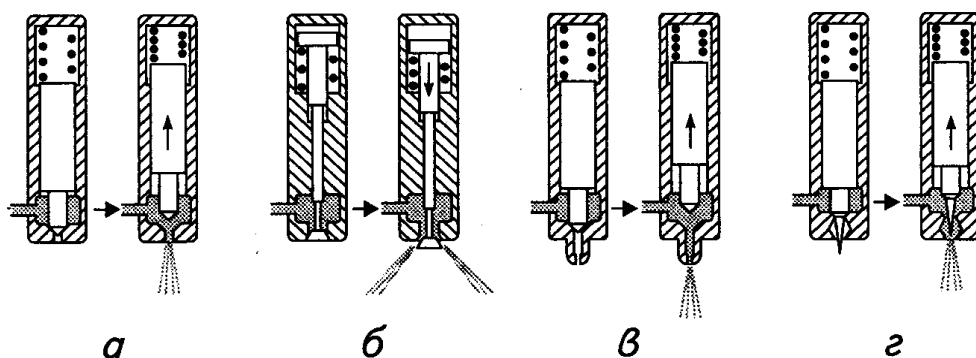


Рис. 2.11. Форсунки (інжектори) впорскування палива:

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

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

Для деяких автомобілів, наприклад “Audi-100“, зазначають подачу форсунок: при потужності двигуна 74–98 кВт на холостому ході подача становить 25–30 см³/хв, а в режимі повного навантаження — 80 см³/хв.

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

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

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

2.6. Електрична схема системи впорскування

Електрична схема системи впорскування показана на рис. 2.12–2.14. Тиск у системі живлення створюється електричним насосом, який після вмикання запалювання починає працювати лише тоді, коли обертається колінчастий вал двигуна.

Більшість елементів системи “K-Jetronic“ живиться від керуючого реле, й тільки пускову електромагнітну форсунку та термореле підключено до

затискача 50 вимикача запалювання (рис. 2.12). Іншими словами, пускова форсунка й термореле можуть умикатися лише під час роботи стартера.

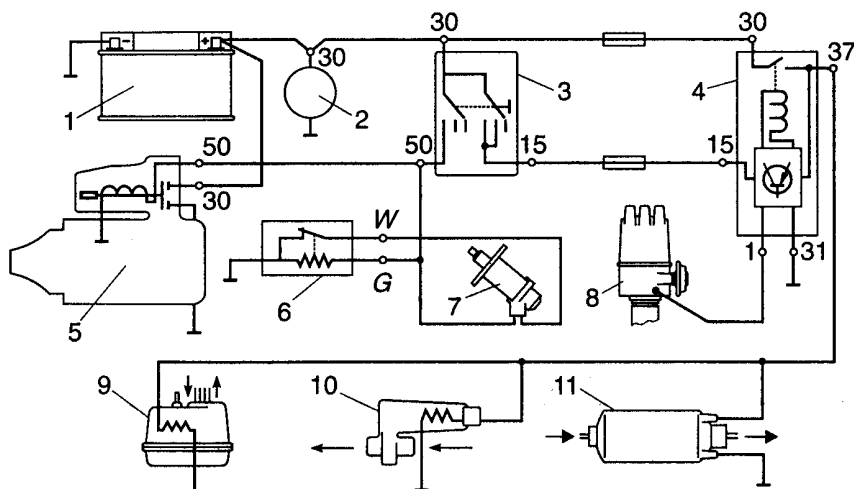


Рис. 2.12. Електрична схема системи “K-Jetronic” без післястартового реле (у стані спокою):

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

Електронасос, регулятор керуючого тиску та клапан додаткового повітря вмикаються керуючим реле. Останнє вмикає всі зазначені елементи схеми, коли ввімкнено запалювання, але колінчастий вал двигуна не обертається, що важливо з погляду безпеки в разі аварії.

Під час пуску холодного двигуна (рис. 2.13) напруга із затискача 50 подається на пускову форсунку й термореле. Якщо пуск триває понад 10–15 с, то термореле вмикає пускову форсунку, щоб двигун не “залило”. Якщо під час пуску двигун має підвищену температуру (близько 36°C), то термореле розімкнене й пускова форсунка не функціонує.

Керуюче реле вмикається самостійно, як тільки стартер прокрутить колінчастий вал двигуна. Для цього керуюче реле отримує імпульси від датчика-розподільника, затискача котушки запалювання або від відповідного затискача комутатора. Керуюче реле розпізнає стан “колінчастий вал двигуна обертається”. Якщо ж двигун не почав працювати, то імпульси до керуючого реле більше не надходять. Реле розпізнає це й вмикає паливний насос за 1 с після проходження останнього імпульсу.

Суть умикання, показаного на схемі рис. 2.14, полягає у продовженні часу роботи пускової форсунки (після вимикання стартера).

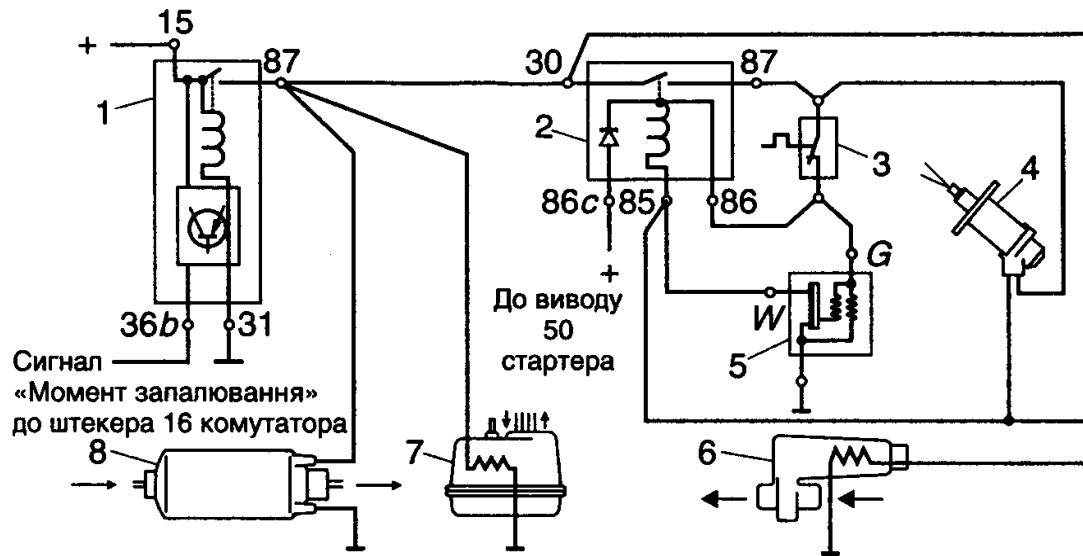


Рис. 2.13. Фрагменти електричної схеми системи “К- Jetronic” (див. рис. 2.12):

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

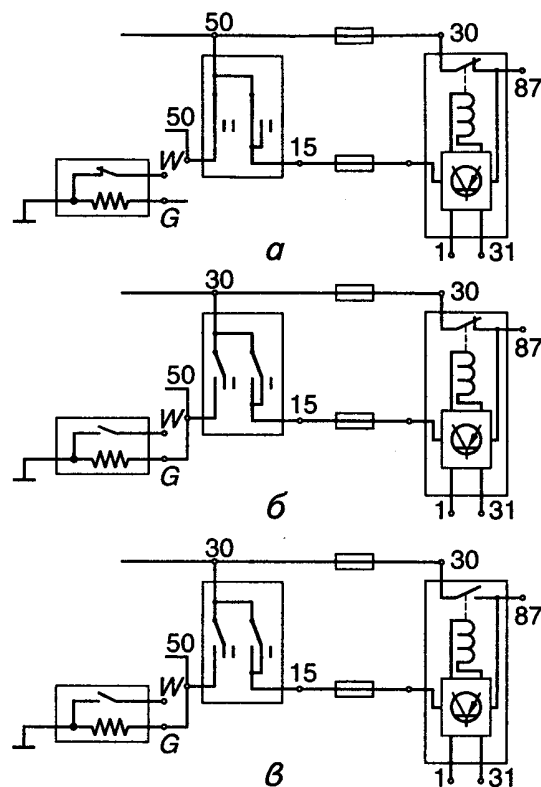


Рис. 2.14. Електрична схема системи “К- Jetronic” із реле пуску холодного двигуна (з післястартовим реле):

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

2.7. Заміна форсунок

Приблизно через 10–15 років експлуатації автомобіля доводиться займатися ремонтом форсунок. Конструкція форсунки постійного впорскування показана на рис. 2.15. У корпус форсунки вставлений пластмасовий фільтр з дуже дрібною сіткою. Фільтр утримується в корпусі розрізним пружинним кільцем, яке своєю чергою упирається у чотири виступи в корпусі (корпус деформований в чотирьох точках, дві точки деформації показані на рис. 2.15).

Далі в корпус вставляється вузол клапана з власне клапаном, сідлом, пружиною і іншими деталями. Остаточна операція складання інжектора — завальцювання нижньої кромки корпусу. Отже форсунка — це нероз'ємний вузол і у разі відмови його можна тільки замінювати на новий. Клапан форсунки (діаметри: тарілки — 1,8 мм, стержня — 0,7 мм) відкривається тиском палива. Для системи впорскування K-Jetronic різних марок автомобілів встановлені різні діапазони робочого тиску (мінімум і максимум), наприклад 0,47–0,54; 0,54–0,62 МПа і т.д. При цьому мінімальний робочий тиск в цих системах впорскування — 0,45 МПа, а максимальний — 0,62 МПа. Кожному діапазону робочого тиску відповідає певна форсунка.

Попереднє стиснення пружини клапана (рис. 2.15) регулюється опорною шайбою пружини, встановленою на сідло. Позначення форсунки вибите на корпусі (див. рис. 2.15, циліндр діаметром 9 мм). На форсунку надіто гумове кільце. Інжектор з кільцем вставляється (запресовується) в латунний утримувач, (рис. 2.16), укрупнений в головку блоку циліндрів. На утримувач надітий пластмасовий наконечник, (рис. 2.17), за допомогою якого організовується потік повітря уздовж форсунки — "зсередини" повітря поступає через спеціальний канал в головці блоку до двох отворів діаметром 3 мм в утримувачі (див. рис. 2.18).

Утримувач форсунки з надітим наконечником вкручується за допомогою внутрішнього шестигранника S13 в головку блоку циліндрів. Шестигранник S13 "провокує" до прикладання значного зусилля. Проте, необхідно мати на увазі, що утримувач форсунки спирається площиною Б (рис. 2.16) на площину

В (див. рис. 2.17), пластмасового наконечника, який через тонку гумову прокладку спирається площиною Г в головку блоку циліндрів. Незначне перевищення зусилля призводить до руйнування пластмасового наконечника.

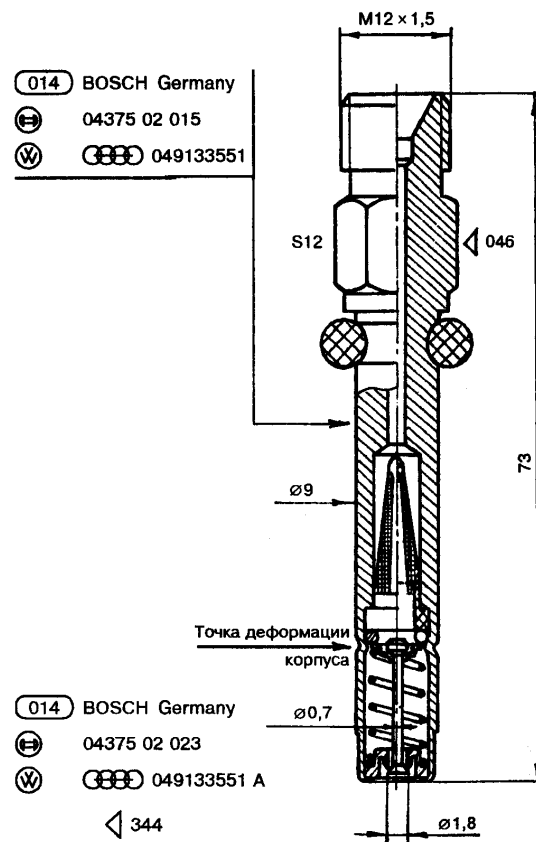


Рис. 2.15. Форсунка

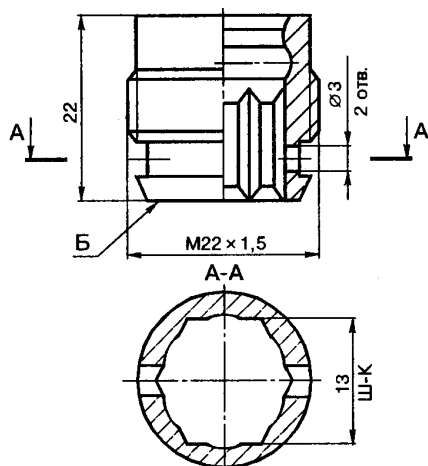


Рис. 2.16. Утримувач форсунки

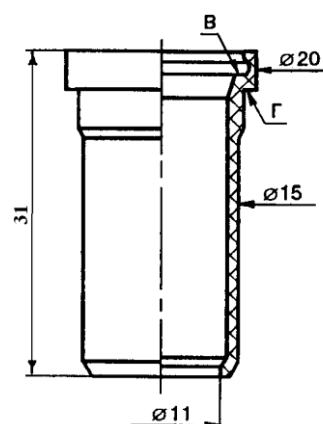


Рис. 2.17. Наконечник форсунки

Гумове кільце утримує інжектор в утримувачі, забезпечуючи при цьому рухливість, і одночасно є ущільнювачем, перешкоджаючим підсмоктуванню зовнішнього повітря у тракт впуску. Оскільки утримувачі вкручені в головку, а

форсунки сполучені з шлангами в металевому оплетенні, яке досить жорстке, при роботі двигуна відносна рухливість форсунок і утримувачів забезпечується гумовим кільцем. Кільце з часом твердне (старіння гуми) і зношується, у результаті можливе підсмоктування зовнішнього повітря зі всіма небажаними наслідками: утруднений пуск, втрата потужності, перегрів двигуна тощо. Окрім перерахованого з'являється ще одна неприємність, якщо форсунки з новими кільцями порівняно легко вставляються в утримувач і виймаються рукою, то вийняти форсунки з кільцями, що "скам'яніли", — вже проблема. Тому при ремонті двигуна, коли знята головка блоку циліндрів і видалені клапани, інжектори просто вибивають з утримувача бородком, що робить їх непридатними до використання. Зручніше видаляти форсунки за допомогою спеціального виймача. Опора 2 спирається на утримувач 5. Нагвинчуючи гайку на форсунку, витягують її з утримувача. Якщо при обертанні гайки 1 (див. рис. 2.18) одночасно починає обертатися і форсунка 4, тоді підтискання форсунки через кільце 3 до утримувача 5 здійснюється за допомогою отвору в гайці 1.

Форсунку іноді вдається демонтувати за допомогою воротка, вставленого в отвір гайки 1 (гайка накручена на форсунку). Гайка 1, у разі потреби, якщо форсунку не вдається вставити в утримувач рукою, використовується і при встановленні форсунки.

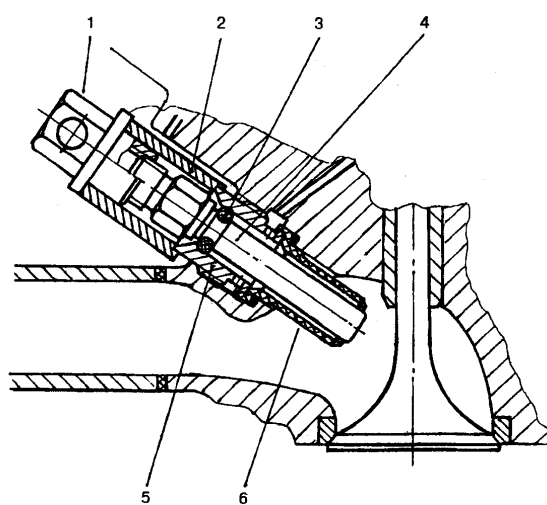


Рис. 2.18. Розміщення форсунки в головці блоку циліндрів:

1 – гайка; 2 – опора; 3 – ущільнювальне кільце; 4 – форсунка; 5 – утримувач форсунки;
6 – наконечник форсунки

Тема 3. Системи впорскування палива "KE-Jetronic", "L-Jetronic", "Mono-Jetronic", "Opel-Multec", безпосереднього впорскування

План

- 3.1. Системи впорскування палива "KE-Jetronic".
- 3.2. Системи впорскування палива "L-Jetronic".
- 3.3. Системи впорскування палива "Mono-Jetronic".
- 3.4. Системи впорскування палива "Opel-Multec".
- 3.5. Система безпосереднього впорскування бензину.

3.1. Системи впорскування палива "KE-Jetronic"

"KE-Jetronic"— це механічна система постійного впорскування палива, подібна до системи "K-Jetronic", але з електронним блоком керування (E-Elektronic). Регулятор керуючого тиску замінено електрогідравлічним регулятором. Крім того, система має потенціометр (реостатний датчик), установлений на важелі витратоміра повітря, й вимикач положення дросельної заслінки. Потенціометр передає електричними сигналами в електронний блок керування інформацію про положення напірного диска витратоміра повітря. Положення напірного диска визначається витратою повітря (розрідженням у впускному трубопроводі, положенням дросельної заслінки, навантаженням двигуна).

Вимикач положення дросельної заслінки може інформувати електронний блок керування про: крайні положення дросельної заслінки — повністю відкрита чи закрита (в цьому разі вимикач називається кінцевим); усі положення дросельної заслінки; усі положення та швидкості її відкривання й закривання.

Система "KE-Jetronic" складніша порівняно з "K-Jetronic", але дає змогу краще оптимізувати дозування палива.

3.1.1. Принцип дії, головна дозувальна система та система холостого ходу

Паливо під тиском надходить до форсунок 12 (рис. 3.1), установлених перед впускними клапанами. Форсунки розпилюють паливо, кількість якого

визначається його тиском залежно від навантаження (розрідження у впускному колекторі) та температури охолоджуючої рідини.

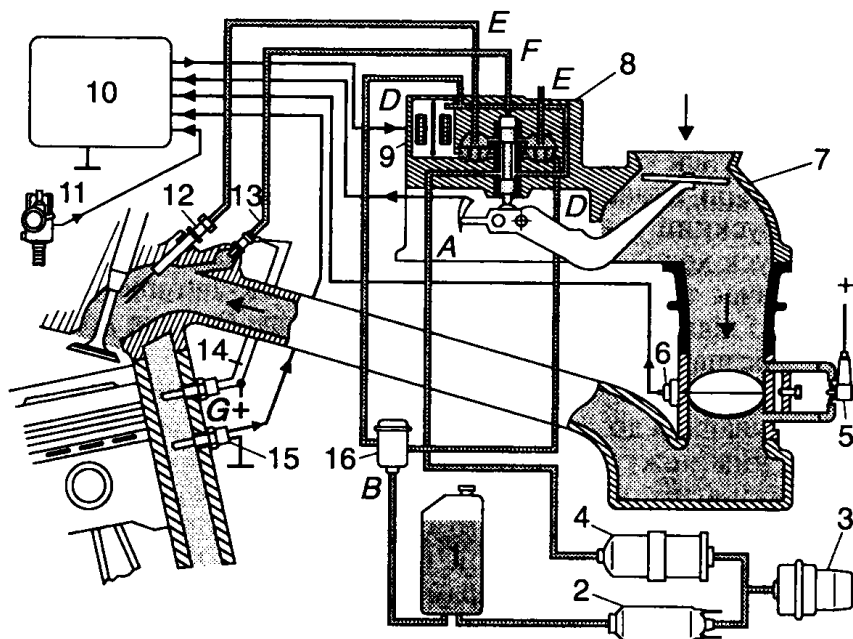


Рис. 3.1. Схема системи впорскування палива "KE-Jetronic":

1 — паливний бак; 2 — паливний насос; 3 — акумулятор палива; 4 — паливний фільтр; 5 — клапан додаткової подачі повітря; 6 — вимикач положення дросельної заслінки; 7 — витратомір повітря; 8 — дозатор-розподільник кількості палива; 9 — електрогідравлічний регулятор керуючого тиску (протитиску); 10 — електронний блок керування; 11 — датчик-розподільник; 12 — форсунка (інжектор); 13 — пускова електромагнітна форсунка; 14 — термореле; 15 — датчик температури охолоджуючої рідини; 16 — регулятор тиску палива в системі; A — P — паливні канали

Регулювання кількості палива забезпечується дозатором-розподільником 8, що керується витратоміром повітря 7 та електрогідравлічним регулятором керуючого тиску 9. Останнім керує електронний блок 10 за сигналами датчика температури охолоджуючої рідини 15 двигуна, вимикача положення дросельної заслінки 6 і датчика частоти обертання колінчастого вала двигуна (датчика початку відліку). Сигнали (імпульси) частоти обертання беруться від датчика-розподільника запалювання. Як зазначалося вище, ці сигнали можуть братися також від котушки запалювання або від комутатора. Для цього застосовуються індуктивні датчики, які закріплюються на картері маховика, а їхня "чутлива" частина розташовується над зубчастим вінцем маховика. Коли зуб проходить повз датчик, в його обмотці генерується ЕРС.

Система впорскування (див. рис. 3.1) працює так. Електронасос 2 забирає паливо з бака й подає його під тиском до дозатора-розподільника палива 8 крізь паливний фільтр 4 та аккумулятор 3. Паливо надходить у верхні камери диференціальних клапанів дозатора-розподільника під тиском, що змінюється регулятором 16 залежно від положення плунжера розподільника. Кількість палива, що надходить до робочих форсунок 12, регулюється діафрагмою диференціальних клапанів, яка притискається керуючим тиском (протитиском) до вихідних отворів (трубок форсунок).

У системі "KE-Jetronic", на відміну від "K-Jetronic", керуючий тиск до верхнього торця плунжера розподільника не підводиться.

Регулятор керуючого тиску 9 становить електроклапан, яким керує електронний блок 10. Під час роботи головної дозувальної системи змінюється положення біметалевої пластини. У разі збільшення частоти обертання колінчастого вала (прискорення) верх пластини відхиляється праворуч, отвір підведення палива до регулятора прикривається. У разі зменшення частоти обертання колінчастого вала (сповільнення) верх пластини відхиляється ліворуч, отвір підведення палива до регулятора збільшується. Коли частота обертання колінчастого вала постійна (двигун працює рівномірно), пластина випрямлена.

Потенціометр напірного диска й вимикач положення дросельної заслінки передають в електронний блок керування інформацію про поточне навантаження двигуна та про "поведінку" дросельної заслінки. Своєю чергою, електронний блок керування через електрогідравлічний регулятор керуючого тиску коректує вплив переміщень напірного диска на плунжер розподільника. Наприклад, у разі різкого натискання на педаль подачі палива електронний блок керування розрізняє, чи це прискорення руху автомобіля, чи просто збільшення частоти обертання колінчастого вала двигуна на холостому ході.

У разі повного навантаження сигнал від вимикача положення дросельної заслінки надходить в електронний блок керування. Останній через регулятор керуючого тиску дозатора-розподільника збагачує суміш.

Система холостого ходу, яку показано на рис. 3.1, майже не відрізняється від системи холостого ходу "K-Jetronic". Паралельно каналу дросельної заслінки проходять ще два повітряних канали. В одному встановлено конічний гвинт регулювання холостого ходу (гвинт кількості), яким підтримується мінімальне розрідження у витратомірі повітря під диском і забезпечується робота двигуна на холостому ході. Клапан додаткової подачі повітря 5 працює під час холодного пуску й прогрівання двигуна, як і в системі «K-Jetronic».

Система пуску. Електронасос 2 (див. рис. 3.1) під час пуску миттєво створює тиск у системі. Протягом певного часу, який залежить від температури охолоджуючої рідини, пускова форсунка 13 розпилює паливо у впускний трубопровід, що забезпечує збагачення суміші й надійний пуск холодного двигуна. Тривалість роботи пускової форсунки визначає термореле 14 (як і в системі "K-Jetronic").

Клапан 5 відкриває доступ у впускний трубопровід додатковому повітрю, забезпечуючи тим самим збільшення частоти обертання колінчастого вала на холостому ході під час прогрівання двигуна.

Замість клапана додаткової подачі повітря або паралельно з ним можуть установлюватися складніші пристрої, наприклад електромагнітний регулятор (клапан) з електронним керуванням. Якщо клапани додаткового повітря з підігріванням працюють "самі по собі" або за усередненою програмою без зворотного зв'язку, то електромагнітними регуляторами керує електронний блок. Останній, дістаючи поточну інформацію про частоту обертання колінчастого вала двигуна, коректує її, діючи на електромагнітний регулятор холостого ходу, що працює на всіх температурних режимах двигуна.

Збагачення суміші в холодного двигуна здійснюється регулятором керуючого тиску 9 (див. рис. 3.1), який зменшує протитиск у нижніх камерах диференціальних клапанів; при цьому біметалева пластина регулятора відхиляється праворуч. Збагачення суміші припиняється за сигналом датчика температури охолоджуючої рідини 15.

Датчик температури охолоджуючої рідини зовні схожий на термореле (теплове реле часу), що керує роботою пускової форсунки. Проте принцип його дії зовсім інший. Якщо термореле (див. рис. 3.1) — це простий термоелектричний вимикач, то датчик температури двигуна — це термочутливий опір з від’ємним температурним коефіцієнтом (обернена залежність між температурою нагрівання та опором датчика). Це означає, що в холодного датчика опір максимальний, а в міру нагрівання — зменшується.

Електронний блок керування дістає сигнал про поточну температуру двигуна у вигляді значення опору датчика. На підставі цього сигналу блок видає відповідну команду на електрогідравлічний регулятор керуючого тиску, який змінює цей тиск, а отже, і склад суміші.

Дозатор-розподільник системи "KE-Jetronic" принципово відрізняється від такого системи "K-Jetronic": немає потреби встановлювати регулятор керуючого тиску на блоці циліндрів двигуна й підводити до нього вакуум — його вбудовано безпосередньо в дозатор-розподільник (рис. 3.2); керуючий тиск підводиться не до плунжера розподільника зверху, а до диференціального клапана знизу; над плунжером встановлено пружину, яка запобігає втягуванню плунжера вгору під дією розрідження в разі охолодження дозатора-розподільника після зупинки двигуна (є варіанти системи "K-Jetronic" із пружиною над плунжером); плунжер у крайньому нижньому положенні спирається не на ролик важеля (див. рис. 3.1), а на внутрішній кільцевий виступ у нижній частині гільзи розподільника. У системі "K-Jetronic", коли знімається дозатор-розподільник, плунжер випадає вниз із гільзи.

У верхні камери диференціальних клапанів (див. рис. 3.2) підводиться робочий тиск системи, він же, "загальмований" демпфірувальним дроселем, діє над плунжером розподільника. У нижніх камерах є тиск керування.

Регулятор тиску палива в системі (див. рис. 3.2) не тільки встановлює діапазон зміни тиску в системі живлення, а й регулює диференціальний тиск (різницю тисків між верхніми та нижніми камерами диференціальних клапанів).

Електрогідравлічний регулятор керуючого тиску змінює тиск у нижніх камерах диференціальних клапанів залежно від режиму роботи двигуна (тиску струменя палива на пластину) та вироблюваного відповідно до цього режиму сигналу (команди) електронного блоку керування. Завдяки цьому змінюється доза палива, що підводиться до робочих форсунок.

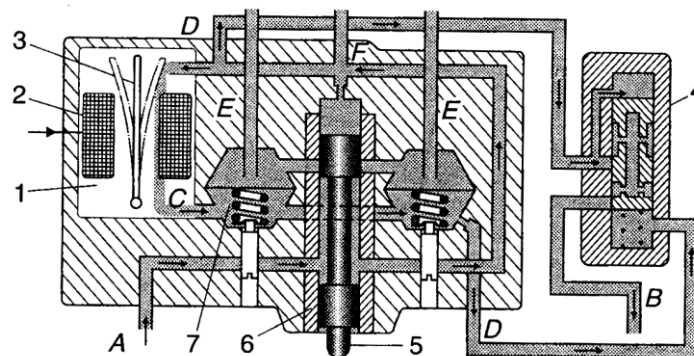


Рис. 3.2. Дозатор-розподільник і регулятор керуючого тиску:

- 1 — електрогідравлічний регулятор керуючого тиску; 2 — обмотка клапана;
3 — біметалева пластина електроклапана; 4 — регулятор тиску палива в системі;
5 — плунжер розподільника; 6 — гільза розподільника; 7 — диференціальний клапан;
A—P — паливні канали

Коли частота обертання колінчастого вала двигуна постійна, біметалева пластина перебуває в положенні, показаному на рис. 3.3, а.

У разі зниження частоти обертання колінчастого вала або примусового холостого ходу (гальмування двигуном), коли дросельна заслінка закрита, а частота обертання колінчастого вала ще перевищує 1700 хв^{-1} , електронним блоком керування за сигналом датчика положення дросельної заслінки подається команда регулятору керуючого тиску, який повністю відкривається (рис. 3.3, б). У нижніх камерах диференціальних клапанів створюється тиск, що дорівнює тиску подачі палива. Надходження палива до робочих форсунок різко скорочується.

У разі збільшення частоти обертання колінчастого вала після відкриття дросельної заслінки відбувається збагачення суміші внаслідок зниження керуючого тиску регулятором (рис. 3.3 в). При цьому дія електронного блоку керування на регулятор визначається сигналами від потенціометра напірного диска та датчика дросельної заслінки. Останній повідомляє про положення

дросельної заслінки та швидкість її відкривання. У системі "K-Jetronic" збагачення суміші в разі швидкого відкривання дросельної заслінки здійснюється лише завдяки швидкому переміщенню напірного диска.

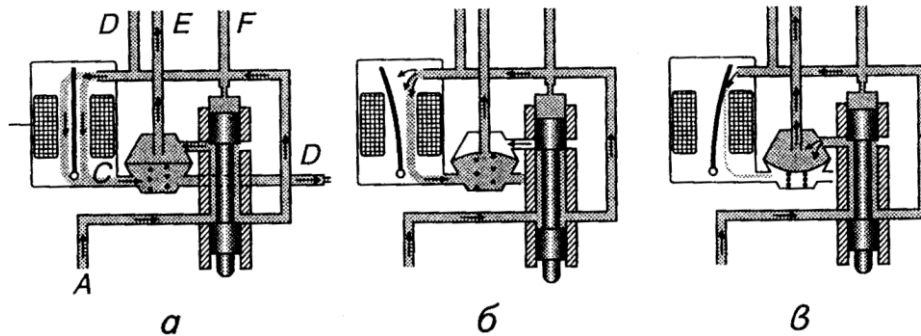


Рис. 3.3. Режими роботи дозатора-розподільника:

а — нормальна робота двигуна (з постійною частотою обертання колінчастого вала); б — зниження частоти обертання колінчастого вала; в — пуск холодного двигуна, збільшення частоти обертання колінчастого вала; А, С, D, E, F — паливні канали

Збагачення суміші під час холодного пуску (див. рис. 3.3, в) та прогрівання відбувається відповідно до сигналів датчика температури двигуна по колу: датчик (сигнал) — електронний блок керування (команда) — регулятор керуючого тиску (вигин пластини) — диференціальні клапани (прогин діафрагми вниз).

Збагачення суміші в режимі повного навантаження двигуна відбувається за сигналом від датчика дросельної заслінки.

3.1.2. Лямбда-регулювання

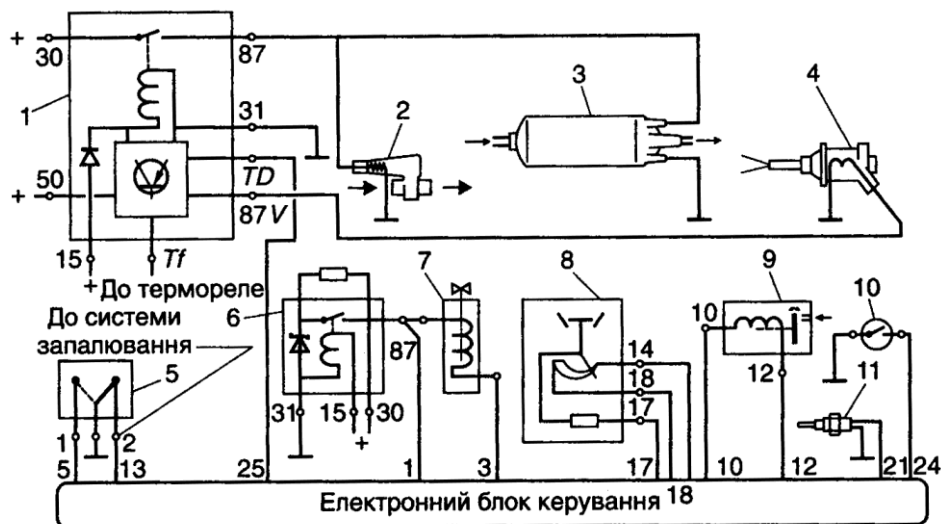
На деяких автомобілях для забезпечення раціональнішого дозування палива застосовується зворотний зв'язок — від відпрацьованих газів до складу суміші. При цьому в електронний блок керування подаються сигнали від лямбда-зонда або датчика кисню (фіксується вільний кисень), розміщеного у випускному трубопроводі двигуна.

Сигнал лямбда-зонда реєструється електронним блоком керування й перетворюється на команду для регулятора керуючого тиску, який змінює тиск керування, збагачуючи або збіднюючи суміш.

Принцип дії застосовуваних датчиків різний.

Титанові датчики (використовується діоксид титану (TiO_2)) застосовуються нечасто й становлять резистори, опір яких змінюється залежно від температури та вмісту кисню в навколишньому середовищі. Можна сказати, що ці датчики в принципі працюють так само, як і датчики температури двигуна.

Лямбда-зонди бувають з підігрівом і без підігріву. Перші, як правило, розташовуються трохи далі від випускного колектора, у випускному трубопроводі. Без обігрівання вони досягали б своєї робочої температури під час пуску двигуна із затримкою. Головна ж мета електричного обігрівання зондів — включення їх у роботу, коли температура відпрацьованих газів, що контактують з ними, нижча від 350°C.



1 — керуюче реле; 2 — клапан додаткового повітря; 3 — паливний насос; 4 — пускова форсунка; 5 — вимикач дросельної заслінки; 6 — реле перевантаження; 7 — регулятор холостого ходу; 8 — витратомір повітря; 9 — електрогідравлічний регулятор керуючого тиску; 10 — вимикач перемикача холостого ходу; 11 — датчик температури охолоджуючої рідини. Клеми: 15 “+” — після вмикання запалювання; 30 “+” — акумуляторна батарея; 50 “+” — стартер; TD — імпульси запалювання

За допомогою датчиків концентрації кисню у відпрацьованих газах удається лише зменшити токсичність відпрацьованих газів на певних режимах роботи двигуна. Застосовуються ці датчики, як правило, разом із нейтралізаторами відпрацьованих газів.

Електрична схема системи впорскування "KE-Jetronic" (рис. 3.4) у принципі подібна до такої системи "K-Jetronic". Головна відмінність пов'язана з електронним керуванням.

3.2. Система впорскування палива "L-Jetronic"

"L-Jetronic" — це керована електронікою система багатоточкового (розподіленого) переривчастого впорскування палива. Головні відмінності цієї системи від розглянутих вище: немає дозатора-розподільника й регулятора керуючого тиску — всі форсунки (пускова й робочі) з електромагнітним керуванням; істотно змінено витратомір повітря; тиск палива в системі приблизно вдвоє менший; може не бути нагромаджувача (гідроаккумулятора).

"L-Jetronic" — досконаліша система, оскільки підвищує економічність і поліпшує динаміку автомобіля, знижує токсичність відпрацьованих газів.

Принцип дії. Електричний паливний насос 2 забирає паливо з бака 1 (рис. 3.5) і подає його під тиском 0,25 МПа крізь фільтр тонкої очистки 3 до розподільної лінії 4, яка шлангами сполучається з робочими форсунками 8 циліндрів. Установлений з торця розподільної лінії 4 регулятор 5 тиску палива в системі підтримує постійний тиск упорскування, а також здійснює зливання зайвого палива в бак, що забезпечує циркуляцію палива в системі й запобігає утворенню парових пробок.

Кількість упорскуваного палива визначається електронним блоком керування 13 залежно від температури, тиску й об'єму повітря, що надходить, а також від частоти обертання колінчастого вала, навантаження двигуна й температури охолоджуючої рідини.

Основний параметр, який визначає дозування палива, — об'єм усмоктуваного повітря — вимірюється витратоміром повітря. Повітряний потік, що надходить, долаючи зусилля пружини, відхиляє напірну

вимірювальну заслінку витратоміра повітря на певний кут. Відповідний електричний сигнал формується за допомогою потенціометра й передається на блок електронного керування, який визначає потрібну кількість палива в даний момент роботи двигуна й видає на електромагнітні клапани робочих форсунок імпульси часу подавання палива. Незалежно від положення впускних клапанів, форсунки впорскують паливо за один або два оберти колінчастого вала двигуна (за цикл, за два такти).

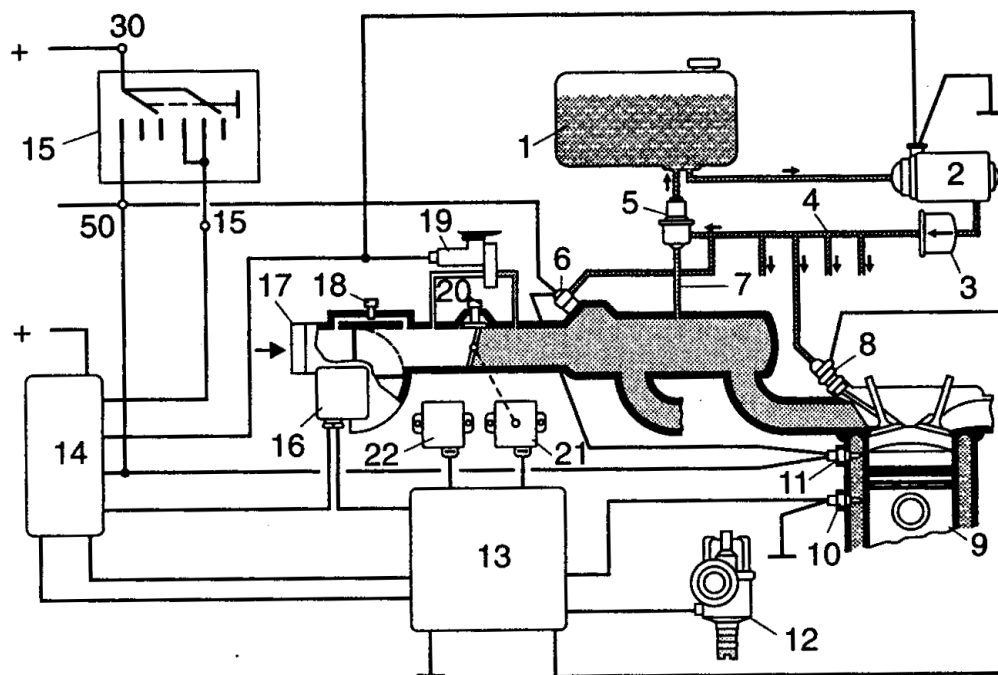


Рис. 3.5. Схема системи впорскування палива "L-Jetronic":

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

Якщо впускний клапан у момент упорскування закритий, то паливо нагромаджується у просторі перед клапаном і надходить у циліндр під час наступного його відкриття разом із повітрям.

Клапан додаткової подачі повітря 19 (див. рис. 3.5), який встановлено в повітряному каналі, виконаному паралельно дросельній заслінці, підводить до

двигуна додаткове повітря під час його холодного пуску та прогрівання, що спричиняє підвищення частоти обертання колінчастого вала. Для прискорення прогрівання двигуна підвищують частоту обертання колінчастого вала понад 1000 хв^{-1} .

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

Функціональний зв'язок усіх елементів системи впорскування "L-Jetronic" показано на рис. 3.6. Доза палива визначається електронним блоком керування залежно від маси всмоктуваного повітря (об'єму, тиску, температури), температури двигуна та режиму його роботи.

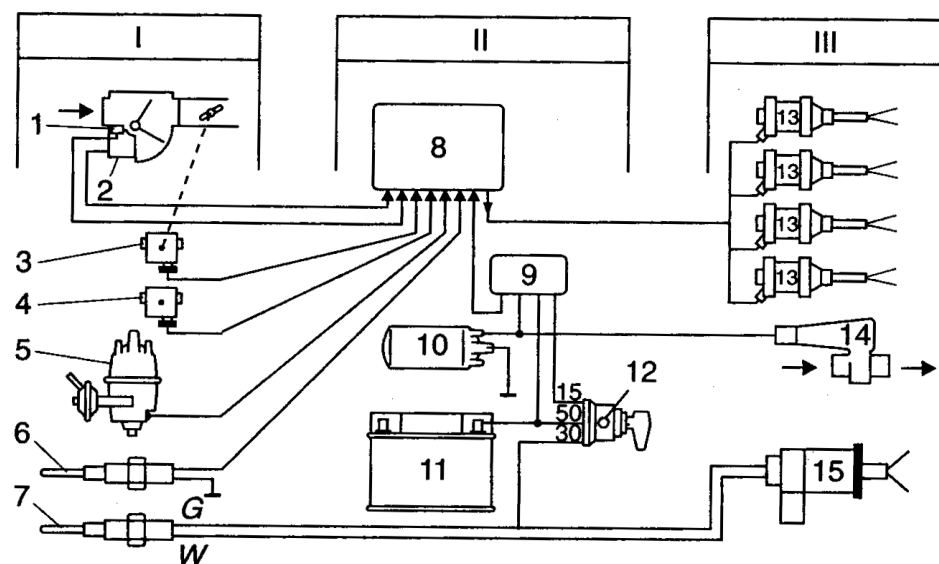


Рис. 3.6. Функціональна схема керування системою впорскування палива "L-Jetronic":
 I — пристрій входних параметрів (1 — датчик температури всмоктуваного повітря; 2 — витратомір повітря; 3 — вимикач положення дросельної заслінки; 4 — висотний коректор; 5 — датчик-розподільник запалювання; 6 — датчик температури охолоджуючої рідини; 7 — термореле); II — пристрій керування й забезпечення (8 — електронний блок керування; 9 — блок реле; 10 — паливний насос; 11 — акумуляторна батарея; 12 — вимикач запалювання); III — пристрій вихідних параметрів (13 — робочі форсунки; 14 — клапан додаткового повітря; 15 — пускова форсунка)

Функціонування системи на різних режимах роботи двигуна. Кожний циліндр має свою форсунку з електромагнітним керуванням, яка впорскує паливо перед впускним клапаном. Упорскування узгоджено з частотою

обертання колінчастого вала двигуна. Інформація про частоту обертання передається в електронний блок керування від контакту переривника (системи запалювання з контактним керуванням), від затискача котушки запалювання або затискача комутатора (для безконтактних систем запалювання).

Об'єм повітря, що проходить, цілком визначається положенням дросельної заслінки (навантаженням двигуна) й вимірюється витратоміром. Останній не враховує лише повітря, яке проходить обвідним каналом, що використовується для СО-регулювання (див. рис. 3.5).

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

Інформацію про навантажувальний режим двигуна в блок електронного регулювання видає вимикач положення дросельної заслінки. Інформація складається із сигналів: “холостий хід“, “часткові навантаження“, “повне навантаження“. Якщо дросельна заслінка замкнена, то двигун працює на холостому ході, контакти холостого ходу замкнені, а в електронний блок керування подається відповідний сигнал. Так само передається інформація про повне навантаження двигуна, тільки в цьому разі контакти розімкнені. Сигнал про часткове навантаження формується за допомогою потенціометра.

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

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

У системі “L-Jetronic” враховується, що густина холодного повітря перевищує густину теплого. Чим тепліше всмоктуване повітря, тим гірше наповнення циліндрів при незмінному положенні дросельної заслінки. Температура повітря, що надходить, змінюється залежно від зміни як “зовнішньої” температури, так і “внутрішньої“. Нормальна температура в

підкапотному просторі — приблизно 50°C . Інформація про температуру повітря від датчика, вбудованого у витратомір повітря, надходить в електронний блок керування, який визначає дозу впорскуваного палива. На деяких автомобілях, крім того, встановлюється висотний коректор, який інформує блок керування про зовнішній атмосферний тиск.

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

Систему холостого ходу доповнено обвідним каналом витратоміра повітря (див. рис. 3.5). У цьому каналі встановлено гвинт регулювання якості (складу) суміші або СО-регулювання. Призначення обвідних каналів дросельної заслінки таке саме, як і в системах, розглянутих вище.

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

Витратомір повітря системи “L-Jetronic” (рис. 3.7) відрізняється від витратомірів розглянутих вище систем. Повітряний потік діє на вимірювальну заслінку 2 прямокутної форми, закріплену на осі в спеціальному каналі. Поворот заслінки перетворюється потенціометром на напругу, пропорційну витраті повітря. Потенціометр має вигляд ланцюжка резисторів, увімкнених паралельно контактній доріжці.

Дія повітряного потоку на вимірювальну заслінку 2 зрівноважується пружиною. Для гасіння коливань, спричинених пульсаціями повітряного потоку та динамічними впливами, характерними для автомобіля, особливо на

поганих дорогах, у витратомірі є демпфер 3 з пластиною 4. Останню виконано як одне ціле з вимірювальною заслінкою 2. Різким переміщенням вимірювальної заслінки перешкоджає повітря, що стискається у демпферній камері й тисне на пластину 4.

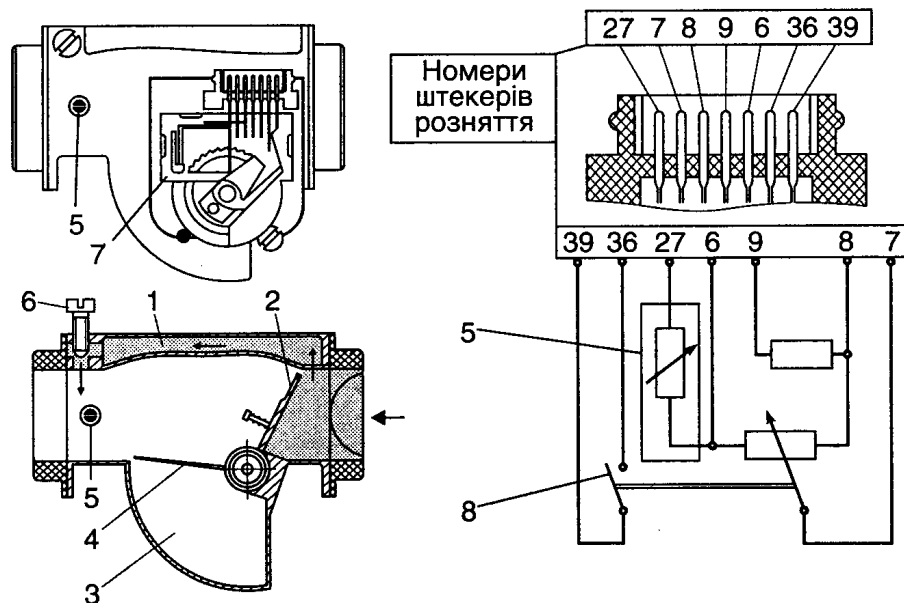


Рис. 3.7. Витратомір повітря з датчиком температури:

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

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

Електромагнітна форсунка дозує паливо, працюючи в імпульсному режимі. Тривалість відкритого стану клапана форсунки залежить від тривалості керуючого електричного імпульсу, що подається на обмотку електромагніта форсунки. Принципова схема форсунки показана на рис. 3.8, а. У корпусі 1 розміщений клапан 2 з пружиною 7, що притискає його до сідла 8, і електромагніт 3. Кінці обмоток електромагніту виведені назовні через ізолювані контакти 4. Паливо в порожнину форсунки попадає трубопроводом 5 через фільтр 6.

3.3. Система впорскування палива "Mono-Jetronic"

Оскільки паливну форсунку розташовано перед дросельною заслінкою (практично на місці жиклера карбюратора), тиск палива в системі становить приблизно 0,1 МПа. Регулятор тиску системи розміщено поблизу форсунки в

центральному вузлі впорскування (рис. 3.10), де розташовано також дросельну заслінку, вимикач її положення, датчик температури всмоктуваного повітря.

Система "Mono-Jetronic" не має витратоміра повітря, тому співвідношення мас повітря та палива тут менш точне й визначається тільки положенням дросельної заслінки, температурою всмоктуваного повітря та частотою обертання колінчастого вала.

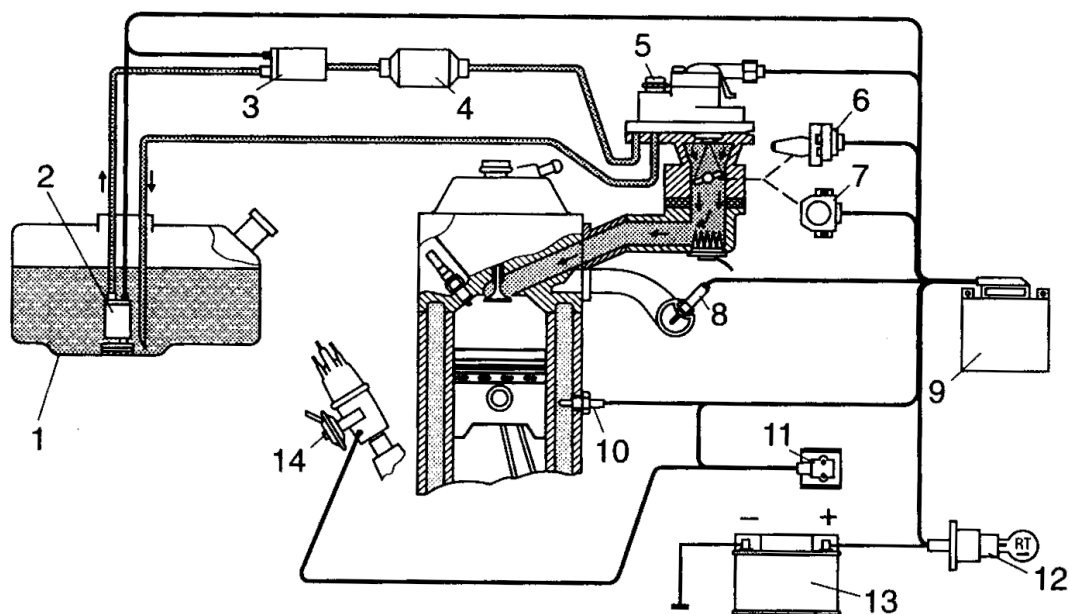


Рис. 3.9. Схема системи впорскування палива "Mono-Jetronic":

1— паливний бак; 2 — паливоподавальний насос; 3 — паливний насос; 4 — паливний фільтр; 5 — вузол центральної форсунки; 6 — регулятор холостого ходу із кроковим двигуном; 7—потенціометр дросельної заслінки; 8 — лямбда-зонд; 9—електронний блок керування впорскуванням; 10 — датчик температури охолоджуючої рідини; 11 — прилад, що комутує сигнал інформації про частоту обертання колінчастого вала двигуна, який надходить із системи запалювання; 12 — вимикач запалювання; 13 — акумуляторна батарея; 14 — датчик-розподільник

Пристрій, що визначає положення дросельної заслінки, — це не вимикач із контактами (холостого ходу, часткового навантаження, повного навантаження), а потенціометр, який інформує електронний блок керування про положення заслінки в даний момент часу.

Отже, основне дозування палива здійснюється за трьома параметрами: положенням дросельної заслінки, температурою всмоктуваного повітря та частотою обертання колінчастого вала двигуна. Дозування під час холодного пуску й прогрівання коректується електронним блоком керування за імпульсами, що надходять від датчиків температури всмоктуваного повітря,

охолоджуючої рідини й потенціометра дросельної заслінки. Останній коректує дозування також у режимі повного навантаження. Коректування токсичності відпрацьованих газів відбувається за сигналами лямбда-зонда. Дозування змінюється збільшенням або зменшенням тривалості впорскування при постійному тиску палива.

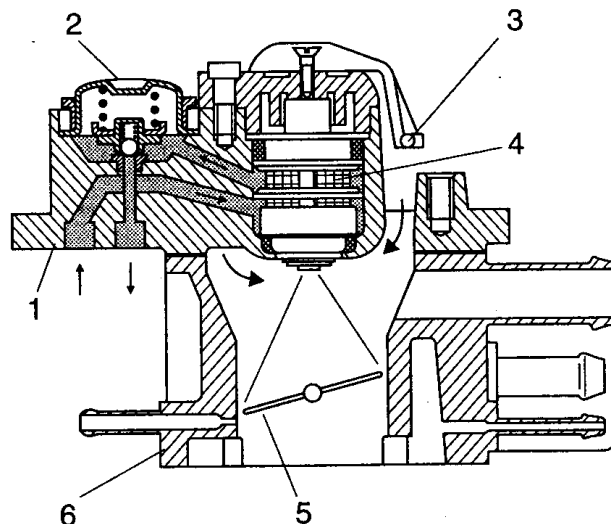


Рис. 3.10. Центральний вузол впорскування:

1 — корпус форсунки та регулятора; 2 — регулятор тиску палива; 3 — датчик температури всмоктуваного повітря; 4 — електромагнітна форсунка; 5 — дросельна заслінка; 6 — корпус дросельної заслінки

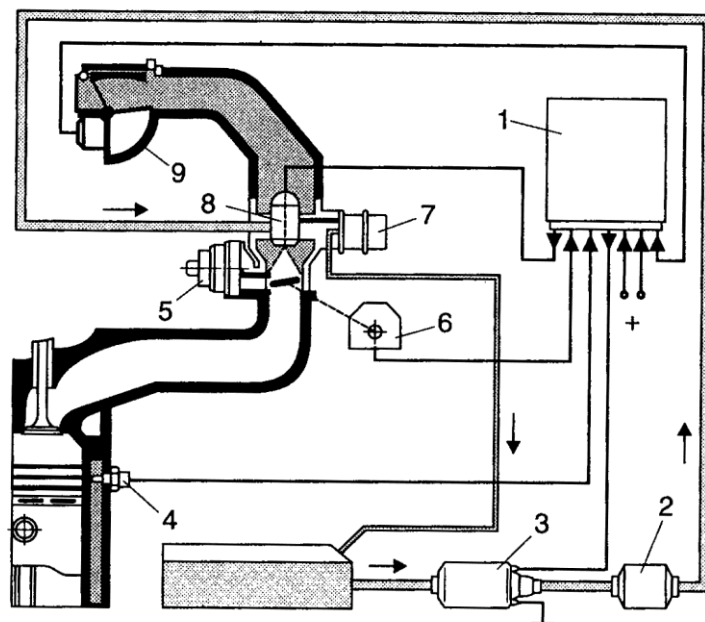


Рис. 3.11. Схема системи впорскування палива "Mono-Jetronic" з витратоміром повітря:

1 — блок електронного керування; 2 — паливний фільтр; 3 — паливний насос; 4 — датчик температури охолоджуючої рідини; 5 — клапан додаткового повітря; 6 — датчик положення дросельної заслінки (потенціометр); 7 — регулятор тиску палива в системі; 8 — форсунка; 9 — витратомір повітря

Електронний блок керування згладжує коливання напруги бортової мережі, здійснює регулювання холостого ходу. Останнє досягається обертанням дросельної заслінки спеціальним електродвигуном. При цьому збільшується або зменшується кількість повітря залежно від відхилення миттєвого значення частоти обертання колінчастого вала від номінального значення, закладеного в пам'ять електронного блоку керування. Блоком керування сприймається також швидкість обертання дросельної заслінки. В режимі прискорення робоча суміш збагачується.

Система впорскування палива "Mono-Jetronic" може бути виконана також у варіанті, показаному на рис. 3.11, із витратоміром повітря 9 та клапаном додаткового повітря 5.

3.4. Система впорскування палива "Opel-Multec"

"Opel-Multec" — система одноточкового (центрального) переривчастого впорскування (рис. 3.12). Як і в системі "Mono-Jetronic", тиск палива й переріз отвору форсунки постійні, тому доза впорскуваного палива визначається тільки тривалістю відкриття форсунки.

Система "Opel-Multec" не має витратоміра повітря, як і система "Mono-Jetronic" (див. рис. 3.8), але відповідність між масою всмоктуваного повітря та кількістю впорскуваного палива також установлюється за трьома параметрами: кутом повороту дросельної заслінки, частотою обертання колінчастого вала двигуна й тиском у впускному трубопроводі. Електронний блок керування, дістаючи сигнали від датчика тиску у впускному трубопроводі, коректує склади робочої суміші залежно від режиму роботи двигуна.

Система має регулятор холостого ходу з кроковим електродвигуном і пристрій контролю за розпиленням палива, в який підводяться пари палива з бака (див. рис. 3.12).

Центральний вузол упорскування має в своєму складі електромагнітну форсунку 10, регулятор тиску палива 9, регулятор холостого ходу з кроковим електродвигуном, дросельну заслінку з потенціометром.

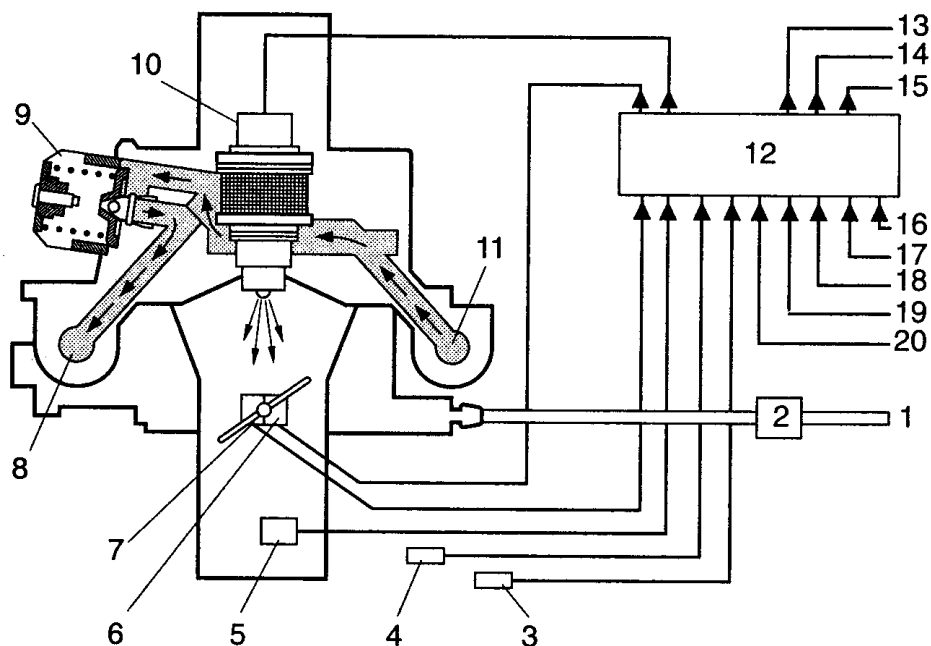


Рис. 3.12. Схема системи впорскування палива "Opel-Multec":

1 — вентиляція паливного бака; 2 — зворотний паливний клапан; 3 — лямбда-зонд; 4 — датчик температури охолоджуючої рідини; 5 — датчик тиску у впускному трубопроводі; 6 — кроковий двигун регулятора холостого ходу; 7 — потенціометр дросельної заслінки; 8 — зливання палива в бак; 9 — регулятор тиску палива; 10 — форсунка; 11 — підведення палива; 12 — електронний блок керування; 13 — подавання палива; 14 — контрольна лампа; 15 — до розподільника запалювання; 16 — вимикач запалювання; 17 — від розподільника запалювання; 18 — "+" акумуляторної батареї; 19 — частотний датчик пройденого шляху; 20 — вимикач паркування (нейтралі)

3.5. Система безпосереднього впорскування бензину

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

Переваги використання безпосереднього впорскування на бензинових двигунах для підвищення їх потужності були підтверджені в 40-х роках у авіації, а потім на автомобілях (50-і роки – Mercedes 300SL). Проте серійне виробництво цих двигунів через технологічні труднощі у ті часи виявилось неможливим. І лише у 90-х роках XX-го століття нові технології дозволили

серійно реалізувати безпосереднє впорскування на бензинових двигунах. Це дозволило не тільки підвищити потужність і крутний момент, а й зменшити витрати пального та шкідливих викидів з відпрацьованими газами.

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

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

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

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

Нові перспективи для розвитку систем живлення з безпосереднім впорскуванням пов'язані з появою п'єзофорсунок, які спрацьовують у два рази швидше за класичні електромагнітні. Подібні форсунки дозволяють максимально точно і швидко дозувати і розпилювати паливо. А це дозволяє оптимізувати процес пошарового сумішоутворення під час роботи двигуна на дуже бідних паливних сумішах. Безпосереднє впорскування бензину п'єзофорсунками зменшує витрати палива до 15% у порівнянні з існуючими на сьогодні системами впорскування у впускний трубопровід.

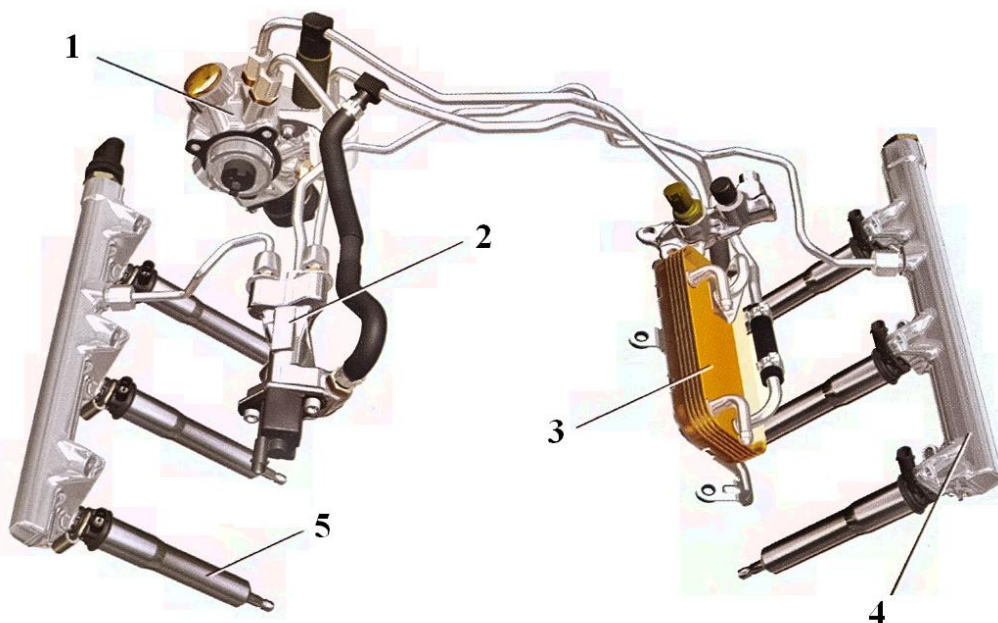


Рис. 3.13. Система Bosch безпосереднього впорскування бензину:

1 – паливний насос високого тиску; 2 – паливний розподільник; 3 – охолоджувач палива; 4 – паливна рейка; 5 – п'єзофорсунка

У 2006 році Bosch розпочала виробництво нової системи безпосереднього впорскування бензину з п'єзофорсунками (рис. 3.13) для автомобілів Mercedes-Benz 350 CGI.

За прогнозами керівництва фірми Bosch до 2010 року щорічний випуск бензинових двигунів з безпосереднім впорскуванням сягне трьох мільйонів [3].

Нижче наведено коротку характеристику існуючих сьогодні систем з безпосереднім впорскуванням бензину [9].

GDI

У двигунах GDI (Gasoline Direct Injection – безпосереднє впорскування бензину, Mitsubishi), що з'явилися восени 1997 року, використовуються два або три режими сумішеутворення. Для японського ринку реалізована дворежимна технологія, а для Європи – трьохрежимна. При частковому навантаженні (швидкість до 120 км/год) двигун працює на дуже збідненій пальній суміші з пошаровим сумішеутворенням. Паливо подається в камеру згорання (під тиском 50 бар) в кінці такту стиснення, співвідношення “повітря–бензин” в середньому за об'ємом камери може досягати пропорції 40:1. Підпалюється така суміш завдяки створенню в зоні іскрового розряду “хмари” з нормальним складом суміші (14,5:1). Формування хмари відбувається завдяки завихренню струменя палива, яке вже встигло змішатися з повітрям за допомогою спеціальної виїмки в днищі поршня. Біля стінок камери згорання при цьому залишається майже чисте повітря. Коли від двигуна потрібен більший крутний момент (висока швидкість, рух на підйом), електроніка активує інший спосіб сумішеутворення – бензин впорскується на такті впускання, як в звичних інжекторних двигунах. При необхідності одержати максимальну потужність (інтенсивний розгін) “працює” третій спосіб сумішеутворення – паливо подається в два етапи: перший – при такті впускання, другий – при такті стиснення. Перша порція палива дає можливість отримати в циліндрі рівномірно розподілену дуже збіднену (до 60:1) пальну суміш, а друга забезпечує отримання нормальної суміші в районі іскрового розряду. Після запалювання нормальної суміші фронт полум'я розповсюджується по циліндру і підпалює дуже збіднену суміш. Японський варіант відрізняється відсутністю третього режиму. Порівняння характеристик 2,0-літрових двигунів з розподіленням і безпосереднім впорскуванням показує, що GDI потужніший на 10 к.с. (145 проти 135 к.с.) і на 13% економічніший в міському циклі (10,2 л/100 км проти 11,7).

FSI

Система безпосереднього впорскування Volkswagen під назвою FSI (FUEL Stratified Injection – багат шарове впорскування палива) представлена в 2000 році. Як і в GDI для японського ринку, FSI може працювати в двох режимах – економічному (малі й середні навантаження) та звичному (великі навантаження). У економічному (рівномірний рух на швидкостях до 120 км/год) впорскування палива відбувається на такті стиснення, а в звичному режимі – на такті впускання, як і в системі живлення з розподіленим впорскуванням. Підвищений тиск впорскування (100 бар) забезпечує своєчаснішу подачу палива і якісне його розпилювання. Збільшено нахил форсунки, а канал впускання розділений спеціальною перегородкою на дві частини. Повітря може поступати або через одну частину його перетину, або через обидві. На малих обертах потік повітря проходить через одну половинку каналу, що дозволяє збільшити його швидкість для отримання кращого завихрення потоку. На високих обертах перегородка відкривається, повітря поступає через весь канал, і швидкість потоку залишається приблизно такою ж, як і на малих обертах.

Якщо порівняти двигуни Volkswagen з робочим об'ємом 1,4 л з розподіленим і безпосереднім впорскуванням, встановлювані на моделі Polo, неважко помітити, що FSI на 11 к.с. потужніший (86 к.с. проти 75 к.с.) й забезпечує меншу витрату пального (4,7–7,7 л проти 5,8–10,2 л/100 км).

T-FSI, TSI

Дуже довго бензинові двигуни з безпосереднім впорскуванням були тільки атмосферними. І лише в 2004 році конструктори Volkswagen AG створили на основі двигуна FSI двигун з турбонаддувом і безпосереднім впорскуванням бензину (T-FSI або FSI-Turbo), які встановлювались на “заряджених” версіях (VW Golf GTI, Audi A3). Наступною розробкою став двигун TSI (безпосереднє впорскування і подвійний турбонаддув). Правда, називати його “подвійним турбонаддувом” не зовсім коректно, оскільки на

малих обертах (до 2400 об/хв) повітря подається тільки механічним компресором, а на високих – лише турбокомпресором, який приводиться в дію відпрацьованими газами. Завдяки такій схемі ефективний тиск наддуву досягається вже при 1500 об/хв і зберігається у всьому діапазоні обертів. У двигунах TSI вперше використовували форсунки для впорскування палива з шістьма отворами замість звичного одного і збільшили тиск впорскування до 150 бар, що дозволило істотно покращити якість сумішеутворення. Показники двигунів з турбонаддувом ще більше вражають. Наприклад, 1,4-літровий двигун з турбонагнітачем і компресором розвиває потужність 170 к.с. і крутний момент 240 Нм в діапазоні від 1750 до 4500 об/хв, при цьому витрата палива у моделі Golf GT складає 5,9–9,6 л/100 км.

CGI

У двигунах Mercedes CGI (Stratified-Charged Gasoline - пошарове впорскування бензину), представлених у 2002 році, використовуються п'єзоелектричні форсунки, що дозволяють реалізувати багатопшарове сумішеутворення завдяки подачі палива декількома порціями. У відкритій форсунці між голкою і корпусом утворюється кільцева щілина товщиною у декілька мікрон, що дозволяє отримати надзвичайно тонке розпилювання палива. Форсунка розміщена в центрі камери згорання, а свічка запалювання розташована між випускними клапанами, причому її положення вибране з урахуванням форми конуса розпилюваного палива. Тиск у паливній системі – 200 бар, що додатково покращує якість розпилювання. Застосовується власна система охолодження для палива і електронного блоку управління системою впорскування. Робота на Perezbidnених сумішах (приблизно 35–40:1) можлива і на швидкостях близько 120 км/год, у той же час завдяки точному сумішеутворенню зберігається крутний момент, достатній для розгону моделі CLS від 60 до 120 км/год на третій передачі всього за 6,2 с. Новий двигун 350 CGI розвиває 292 к.с. при 6400 об/хв (у двигуна з розподіленим впорскуванням – 272 к.с. при 6000 об/хв) і забезпечує середню витрату палива 9,1–9,3 л/100 км

замість 10,1. Іншими словами, при вищій потужності двигуна витрачається приблизно на 10% менше бензину.

HPI

Система безпосереднього впорскування бензину у BMW HPI (High Precision Injection – високоточне впорскування) представлена у 2006 р. Поєднання систем регулювання фаз газорозподілу Double-VANOS, висоти підйому клапанів VALVETRONIC і п'єзоелектричних форсунок з тиском впорскування 200 бар, розташованих в безпосередній близькості від свічок запалювання, дозволило організувати пошарове сумішеутворення на всіх режимах роботи двигуна. Форма струменя палива у поєднанні зі спеціальною геометрією днища поршня забезпечує утворення нормальної суміші саме в районі іскрового розрядника свічки запалювання. Застосування двох турбонагнітачів по одному на кожних три циліндри дозволяє практично усунути ефект “турбоями” і забезпечити швидкий відгук на натиснення педалі газу. Новий трилітровий двигун розвиває 272 к.с. і 315 Нм (у рядної трилітрової “шестірки” з розподіленим впорскуванням – 258 к.с. і 300 Нм), при цьому витрата палива менша на 10%.

Тема 4. Особливості функціонування паливних систем дизелів з електронним керуванням

План

- 4.1. Особливості паливних систем дизелів з електронним керуванням.
- 4.2. Паливні системи з кулачковим приводом плунжерів.
 - 4.2.1. Рядні паливні насоси високого тиску.
 - 4.2.2. Розподільні насоси VE R.BOSCH.
 - 4.2.3. Розподільний насос VP-44 фірми R.BOSCH.

4.1. Особливості паливних систем дизелів з електронним керуванням

Критеріями досконалості подачі палива є показники економічності, потужності й шумності роботи, динамічності транспортного засобу, надійності пуску; викидів ШР з ВГ; коефіцієнт пристосовності; дотримання обмежень за тиском у циліндрі, жорсткості згорання, тепловим навантаженням, температурою газів перед турбіною.

Нижче перераховані особливості систем з електронним керуванням, які можна розглядати і як їх нові функції, і як переваги порівняно з ППА традиційного типу:

- забезпечення гнучкого регулювання циклової подачі відповідно до заданого швидкісного режиму двигуна; забезпечення необхідної зовнішньої швидкісної характеристики (не обов'язково жорстко заданої);
- забезпечення мінімальної нерівномірності подачі по циліндрах або, навпаки, оптимальна нерівномірність подачі і КВПП для кожного циліндра відповідно до його особливостей конструкції, виготовлення і поточного технічного стану;
- оптимальне регулювання КВПП відповідно до режиму роботи;
- автоматизація пуску, необхідне збагачення при пуску, виключення подачі палива на примусовому холостому ході, регулювання на перехідних режимах;
- відключення циліндрів і циклів на часткових режимах;

- діагностика датчиків і виконавчих пристроїв і компенсація тих, що вийшли з ладу, за допомогою резервних програм. Функції СК можуть поєднуватися з керуванням двигуном або транспортним засобом.

Для Common Rail додатково характерно:

- оптимальне регулювання тиску та характеристики впорскування;
- здійснення двофазного впорскування, зокрема з мінімальною стійкою запальною порцією, з регульованим інтервалом між впорскуваннями;
- здійснення регульованого додаткового впорскування (після основного) для розігрівання нейтралізатора відпрацьованих газів на часткових режимах.

Перспективність різної ППА слід оцінювати з урахуванням ступеня забезпечення перерахованих функцій.

Характерно, що норми викидів ШР, які постійно стають жорсткішими, вимагають значного обмеження вмісту у ВГ оксидів азоту NO_x . Такі норми не можуть бути виконані регулюваннями або зміною більшості конструкторських або режимних параметрів дизеля, оскільки їх дотримання представляє суперечливе завдання. Наприклад, при зменшенні КВПП досягається зниження NO_x (також жорсткості згорання, шумності, навантаженості кривошипного механізму), але неминуче росте викид твердих частинок (також витрати палива, теплова навантаженість випускної системи і ін.). Лише ППА із збільшеним тиском подачі палива дозволяє розв'язати цю проблему, тому сучасна ППА відрізняється інтенсивним впорскуванням.

При цьому концепцію максимального скорочення тривалості впорскування можна вважати застарілою: мінімум NO_x при мінімумі витрати палива досягається при оптимальній тривалості впорскування.

Іншою відмінною ознакою сучасної ППА стає використання гнучкого, а, отже, електронного керування паливоподачею. Наприклад, при високих навантаженнях пріоритет у регулюванні КВПП має критерій мінімуму NO_x , а на малих навантаженнях КВПП може бути збільшений. Суперечливу задачу зниження витрати палива, викидів частинок, з одного боку, і шумності, викидів NO_x , з іншого, може також вирішити проміжне охолодження повітря наддуву,

але і воно вимагає гнучкого регулювання за режимами роботи дизеля. Те ж можна віднести до регулювання тиску наддуву, рециркуляції ВГ. З урахуванням того, що СК подачею все частіше стає складовою СК всього дизеля або автомобіля, її функції значно розширюються: управління підлягають свічки розжарювання, фази газорозподілу, кліматична установка, антиблокувальна система і ін.

Крім використання електронного керування у сучасній ППА забезпечується підвищений тиск впорскування: з роторними ПНВТ до 160–180 МПа, у насос-форсунках і індивідуальних ПНВТ – до 200 МПа, в Common Rail першого покоління – до 135, а другого покоління – 160 МПа. Разом з розширенням можливостей електронного керування ставиться питання і про доцільність підвищення тиску впорскування аж до 1800 МПа. Якщо довгий час система Common Rail не могла знайти застосування, то нині існує думка про її безальтернативність. Насправді, Common Rail має ряд неусувних недоліків (постійний високий тиск у розпилювачі й арматурі, низький ККД). Кожна із згаданих систем має переваги та недоліки, і поки що немає підстав вважати яку-небудь з них безперспективною.

4.2. Паливні системи з кулачковим приводом плунжерів

Ці системи, на відміну від акумуляторних, за прийнятою класифікацією названі системами безпосередньої дії і базуються на використанні апробованих технічних рішень і технології виробництва ППА. Використання електроніки в дизелях V12 військових машин Rolls-Royce почалося з 1978 р., а для цивільної продукції фірми "R.Bosch", "Lucas CAV", "Stanadyne", "Detroit Diesel Allison" освоїли ППА з електронним керуванням у середині 80-х років. У простому випадку від традиційної ППА вона може відрізнитися тільки заміною механічного регулятора на електронний. У цьому випадку конструкція насосної секції може не мати нових елементів. Така ППА на сьогодні найбільш підготовлена до широкого використання, але, зважаючи на безліч обмежень, має менші можливості, ніж, наприклад, акумуляторна.

4.2.1. Рядні паливні насоси високого тиску

На відміну, наприклад, від ПНВТ розподільчого типу, гнучке регулювання КВПП у них утруднене. На рис. 4.1 показано конструктивне рішення фірми "R.Bosch" для ПНВТ типів MW і P. Цей ПНВТ має незалежне керування цикловою подачею нижньою "рейкою" і КВПП верхнім поворотним валом. У ньому застосовані характерні сучасні рішення для інтенсивного впорскування: жорсткий кулачковий вал на дворядних сферичних підшипниках, глухий корпус, моновтулка плунжера, комбінований нагнітальний клапан подвійної дії, мащення паливом і ін.

Робота плунжерної трійки прецизійних деталей пояснюється на рис. 4.2 (а, б). Геометричний початок подачі зумовлюється не закриттям вікон втулки 2, а закриттям вікна 6 плунжера 8 тілом регулюючої муфти 3. Так, при зміні вертикального положення муфти досягається регулювання КВПП. Відсічення подачі настає при відкритті спіральної виточки 5, з'єднаної з надплунжерною порожниною 1, відсічним вікном 4. Так як і раніше, циклова подача регулюється поворотом плунжера. Порожнина 7 є впускною і відсічною. У ПНВТ PR39, PR43 при діаметрі плунжера 12 мм і ході 14–18 мм хід муфти складає 5,5 мм, що забезпечує регулювання КВПП до 6° за кулачковим валом (12° за колінчастим).

Муфта 3 (рис. 4.2, в) переміщається повідцем 10, який допускає попереднє регулювання КВПП кожної секції при знятій заглушці 11 шляхом повороту навколо своєї осі валу 9. Муфта фіксується від прокручування штифтом 12 (рис. 4.2, г). Вал синхронно змінює КВПП усіх секцій і повертається електрокерованим виконавчим механізмом 3 (рис. 4.1), що складається з пружини та пропорційного (утримуючого) електромагніту. Аналогічно переміщають "рейку" циклової подачі. Положення "рейки" контролюється власними датчиками переміщення.

У ПНВТ серії P реалізовані як електромагнітний привід рейки із зусиллям 75 Н, так і електрогідравлічний привід для дизелів з числом циліндрів 6–12 – із зусиллям 90 Н.

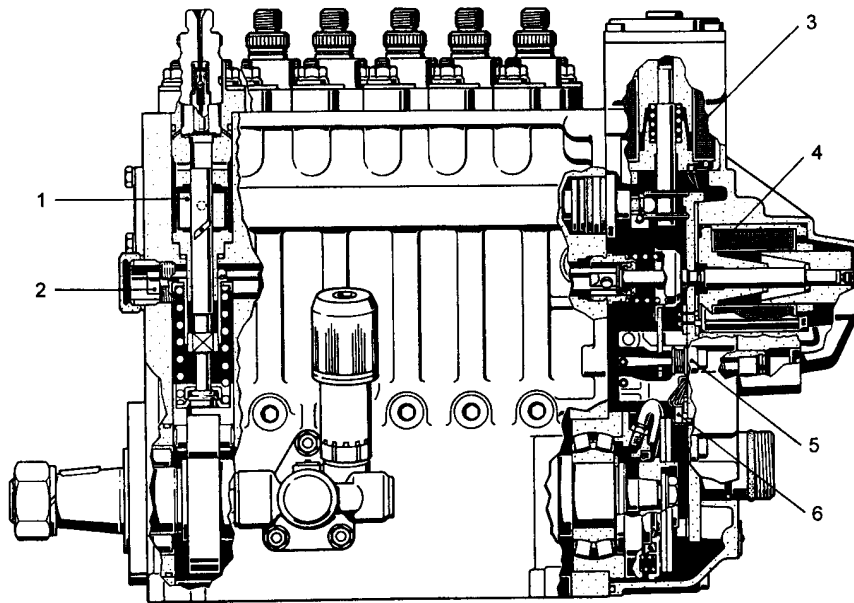


Рис. 4.1. Рядний ПНВТ PR-39 фірми "R.Bosch"

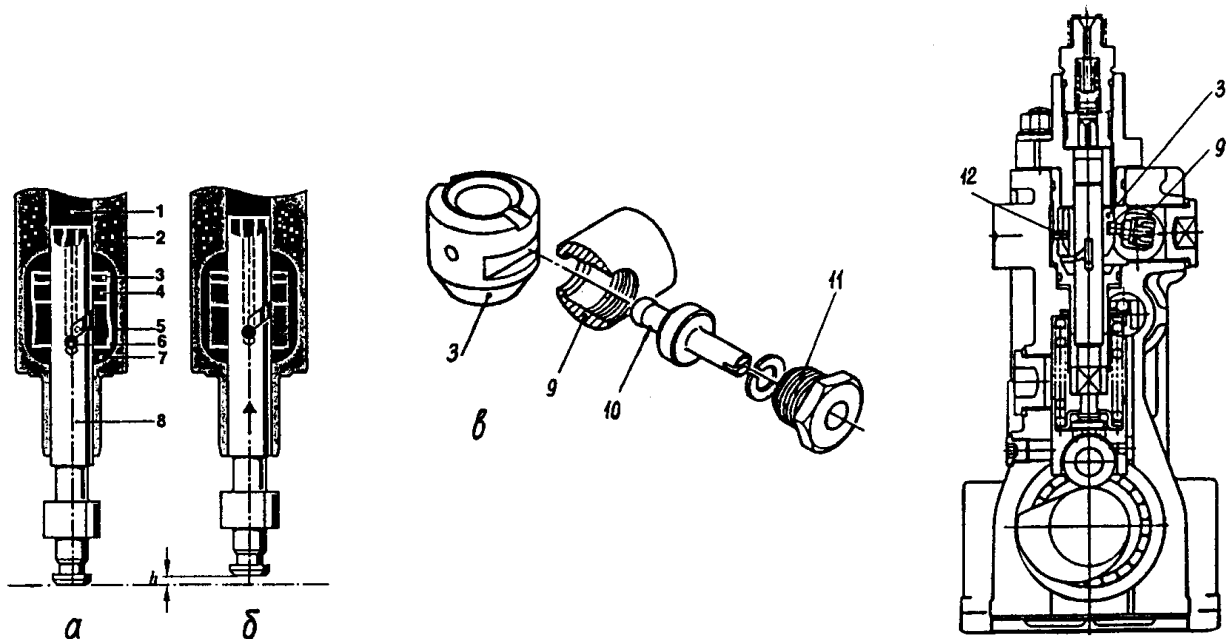


Рис. 4.2. Регулювання кута випередження подачі палива в ПНВТ PR-39:
а, б – моменти початку і кінця подачі; в – привід регулювальної муфти;
г – механізм регулювання КВПП

4.2.2. Розподільні насоси VE R.BOSCH

Паливні насоси високого тиску розподільного типу ще називають аксіально-поршневими або одноплунжерними. Принцип роботи розподільного ПНВТ аксіально-поршневого типу з розподілом палива регулювальною втулкою показаний на рис. 4.3, а з радіальним рухом поршнів та

електромагнітним клапаном регулювання подачею палива на рис. 4.4. Загальна схема гідравлічного пристрою регулювання випередженням подачі палива зображена на рис. 4.5.

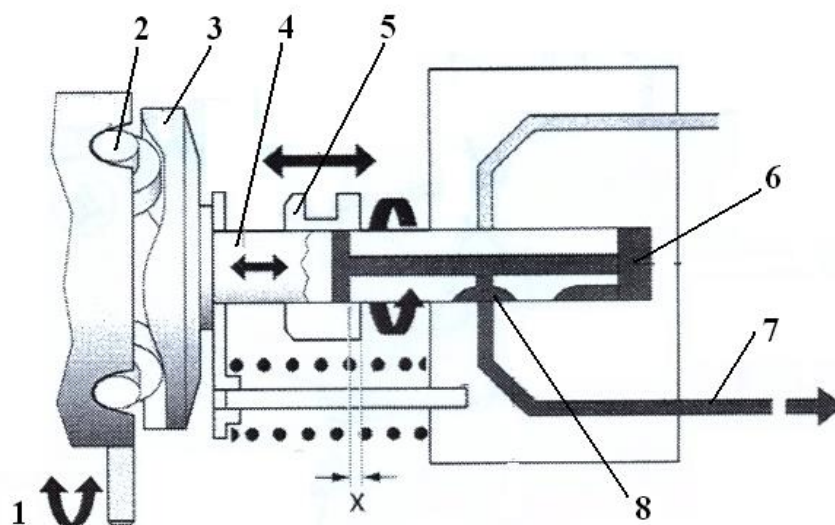


Рис. 4.3. Принцип роботи розподільного аксіально-поршневого ПНВТ:

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

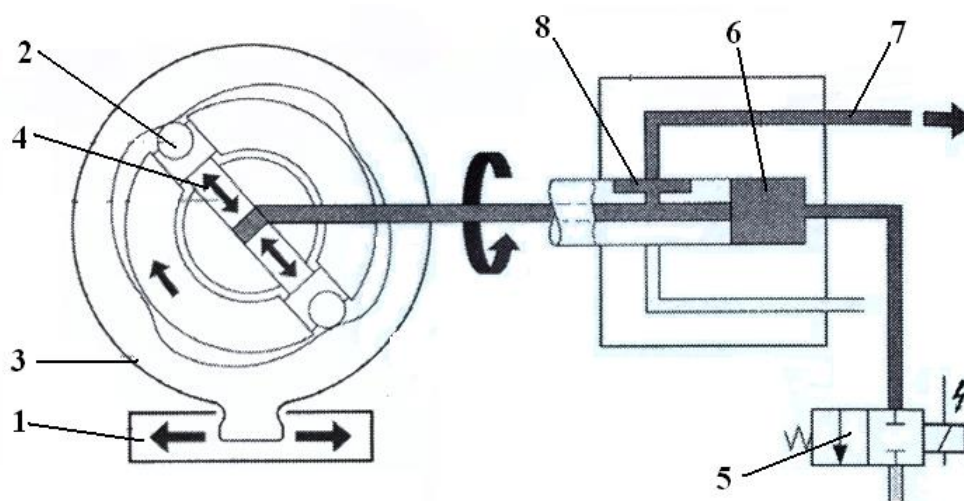


Рис. 4.4. Принцип роботи розподільного ПНВТ з радіальним рухом плунжерів:

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

Одноплунжерні ПНВТ з приводом від торцьової кулачкової шайби типу VE почали вироблятися фірмою у 1976 р. З 3,5 млн. насосів, що випускаються R.BOSCH в рік, більше 1 млн. припадає на VE. Нині все їх виробництво

передане в азіатські філіали фірми в Індії і Туреччині, за ліцензією фірми вони випускаються у Японії і Південній Кореї. ПНВТ VE залишаються наймасовішими в світі. Ними ж поки комплектуються швидкохідні дизелі ВАЗ-341 виробництва Барнаульського заводу транспортного машинобудування для автомобілів ВАЗ і дизелі ЗМЗ-514 для автомобілів ГАЗ і УАЗ.

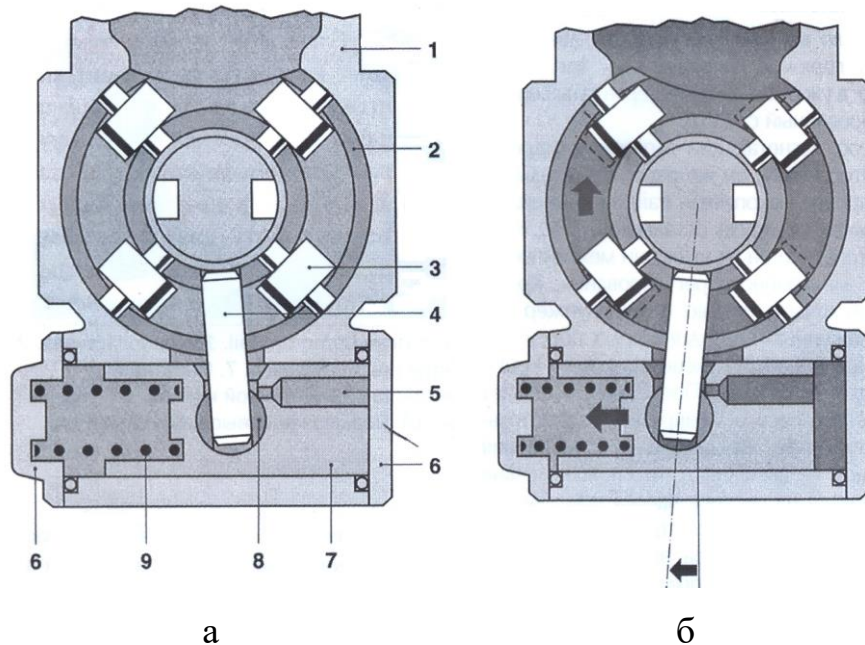


Рис. 4.5. Гідравлічний пристрій регулювання випередженням впорскування палива розподільним ПНВТ (а – положення при пуску; б – положення при 3000 об/хв):

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

ПНВТ VE можуть обслуговувати дизелі з числом циліндрів 2, 4, 6, циліндровою потужністю до 25 кВт, частотою обертання вала до 5000 хв⁻¹, тиском нагнітання до 90 МПа. Можлива комплектація: діаметр плунжера 8–12 мм, хід – 1,5–4 мм.

Загальний вигляд ПНВТ VE з механічним регулятором показаний на рис.4.6, основні деталі насосної секції – на рис. 4.7. Позиції на цих рисунках однакові. Привідний вал, на якому розміщений роторно-лопатевий паливопідкачуючий насос 13 (рис. 4.6) і шестерня приводу автоматичного регулятора, приводить плунжер 5 в обертання через муфту 1, кулачкову шайбу 3, підп'ятник 4.

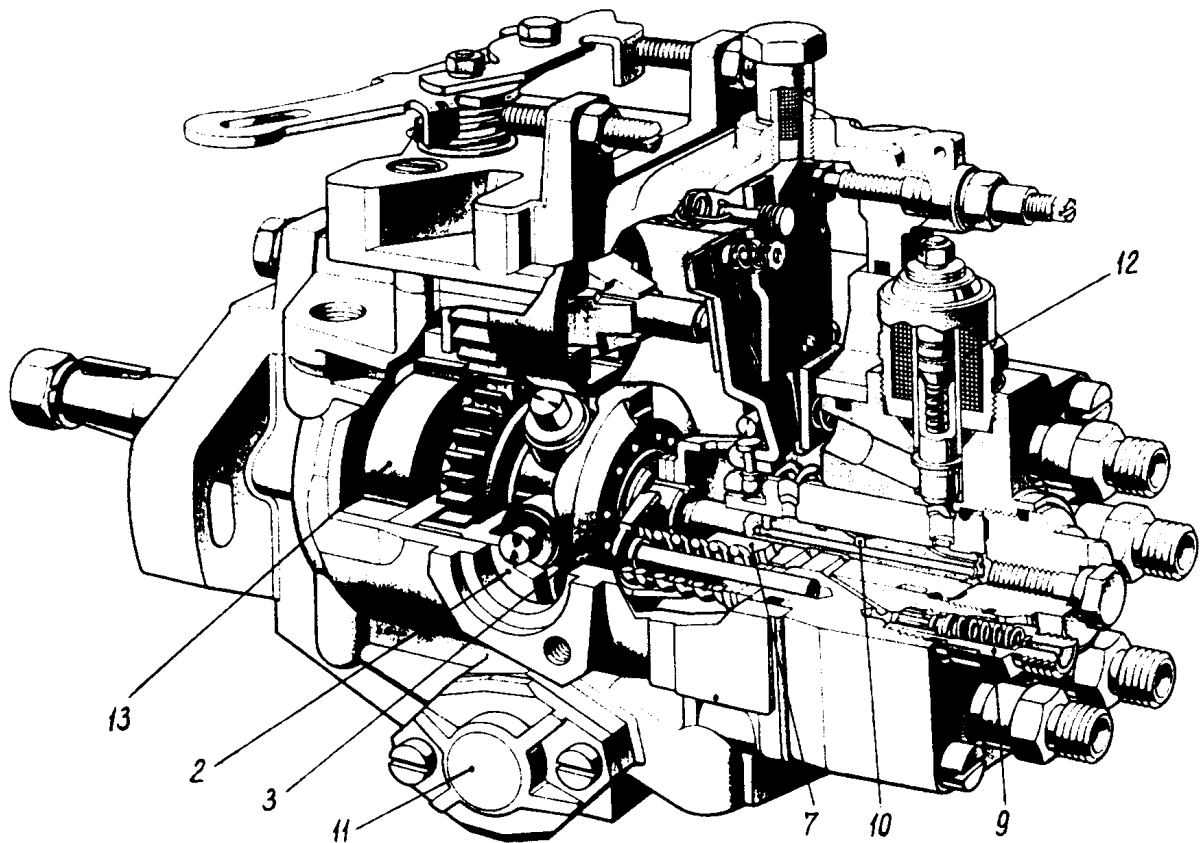


Рис. 4.6. ПНВТ VE фірми "R.Bosch" базової конструкції з механічним регулятором

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

У початкове положення плунжер повертається пружинами 8 через планку 6. Регулювання циклової подачі здійснюється переміщенням муфти 7. У традиційній версії ПНВТ вона керується механічним автоматичним регулятором. Через розподільник 11 паливо подається до нагнітального клапана 9 (поз. 2 на рис. 4.8). Електромагнітний клапан 12 дозволяє або припиняє роботу дизеля шляхом перекриття каналу наповнення плунжерної порожнини. Фази роботи ПНВТ пояснює рис. 4.6.

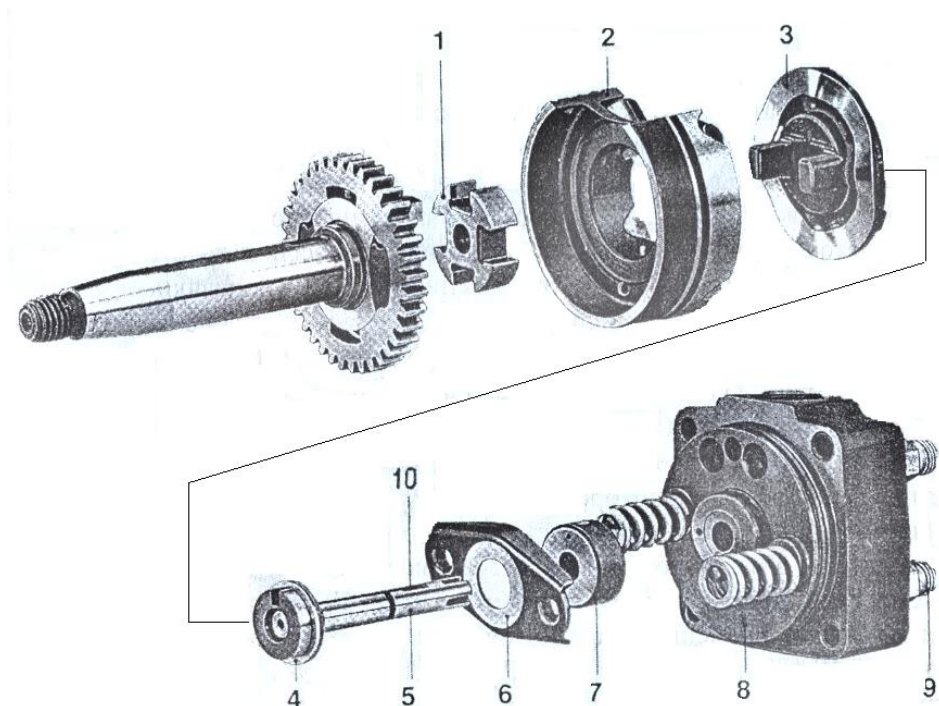


Рис.4.7. Деталі насосної секції ПНВТ VE

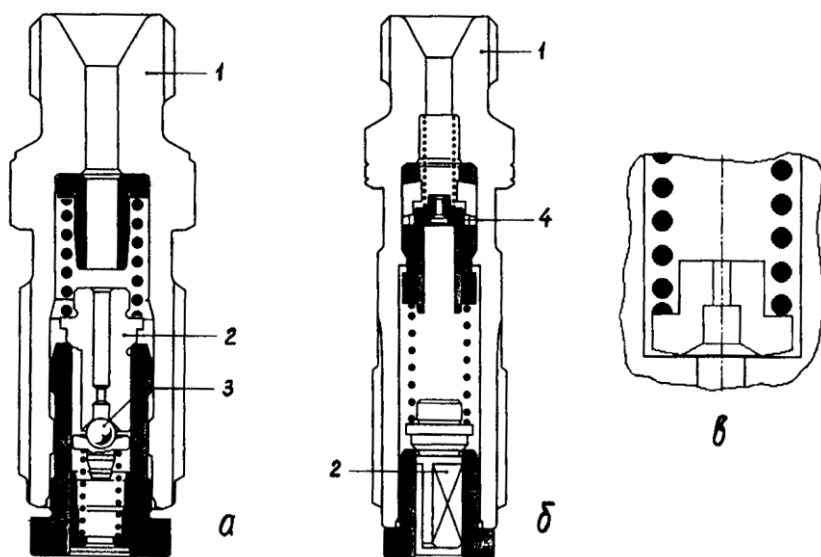


Рис. 4.8. Нагнітальні клапани ПНВТ VE

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

Замість традиційного грибкового клапана (рис. 4.6) для усунення повторного впорскування у штуцері 1 (рис. 4.8, а) встановлювався комбінований клапан (з кульковим клапаном 3, що зливає паливо після

закриття нагнітального клапана 2). Функціонально він аналогічний зображеному на рис. 4.1. Вищий залишковий тиск дозволяє одержати гасіння повторного впорскування шляхом згладжування хвилі від гідроудару (рис. 4.8, б). У цьому випадку швидкість закриття нагнітального клапана 2 знижується тим, що паливо дроселює допоміжний клапан 4. При нагнітанні палива, відкриваючись, він не перешкоджає проходу палива. Нарешті, для інтенсивного впорскування застосований простий плоский клапан 3 з дроселем для демпфування гідроудару. Проте з урахуванням обмеженості фаз розподільника наявність цього дроселя не гарантує рівності залишкового тиску й тиску підкачування.

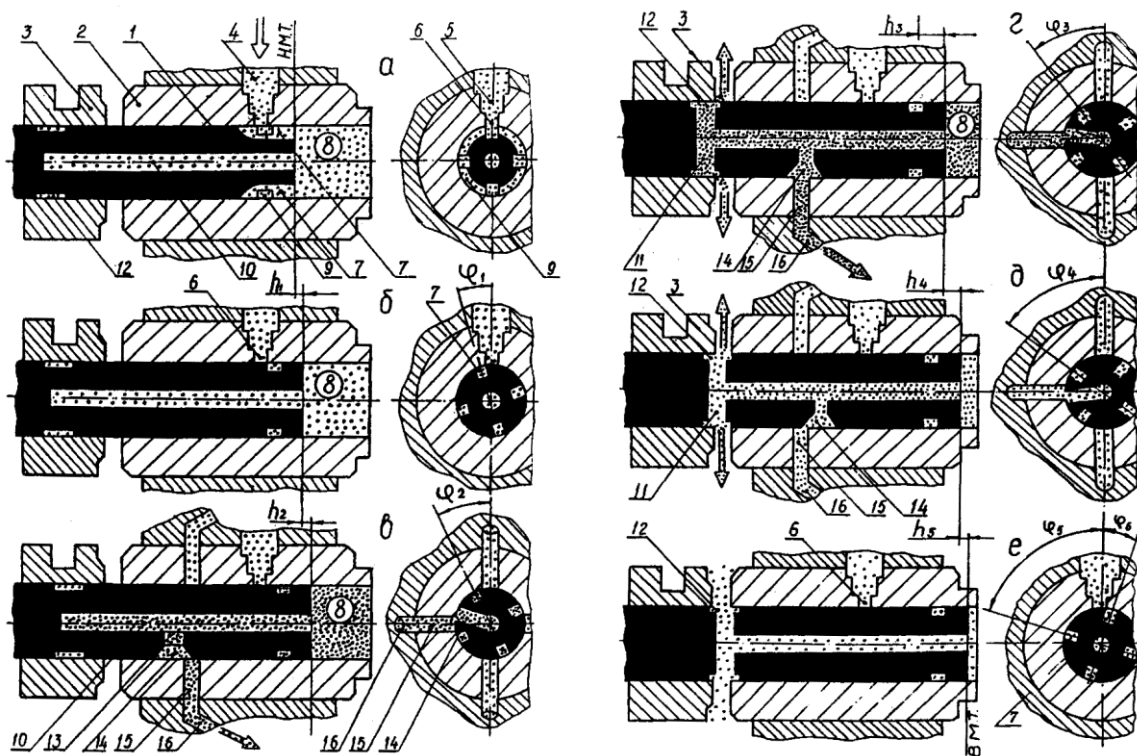


Рис. 4.9. Фази розподілу палива в насосі ПНВТ VE:

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

Електронне керування в ПНВТ VE здійснюється простіше, зважаючи на наявність вбудованого автомата КВПП і менших перестановочних зусиль (рис. 4.10), було упроваджене у виробництво ще в 1984 р. Як і раніше активний хід плунжера 4 регулюється муфтою 6, але вона переміщається ексцентриком на валу поворотного пропорційного електромагніту 2 на кут до 60°. Його поворот

контролюється датчиком 1, а клапан дозволу роботи 3 тепер живиться від блоку керування. Електрокерування введене і в регулятор КВПП. Тепер тиск в гідроциліндрі обумовлюється відношенням часу циклу роботи електроклапана 5 до часу його відкриття. Цей механізм використаний в сучасних ПНВТ фірми VP-30, UP-37 (рис. 4.11), VP-44 (рис. 4.15).

Електронна СК ППА з насосом VE зображена на рис. 4.12. Педаль акселератора водія є лише одним з датчиків СК. Вона, по суті, є вже СК двигуна, регулюючи тиск наддуву, рециркуляцію ВГ (заслінкою перепуску), прискорювач пуску і прогрівання, що також зменшує шум на малих навантаженнях (заслінкою на впусканні). У сучасніших системах з'явилися датчики температури й тиску атмосферного і повітря наддуву, швидкості автомобіля, органів керування зчепленням і гальмами. Деякі датчики переміщені в ПНВТ.

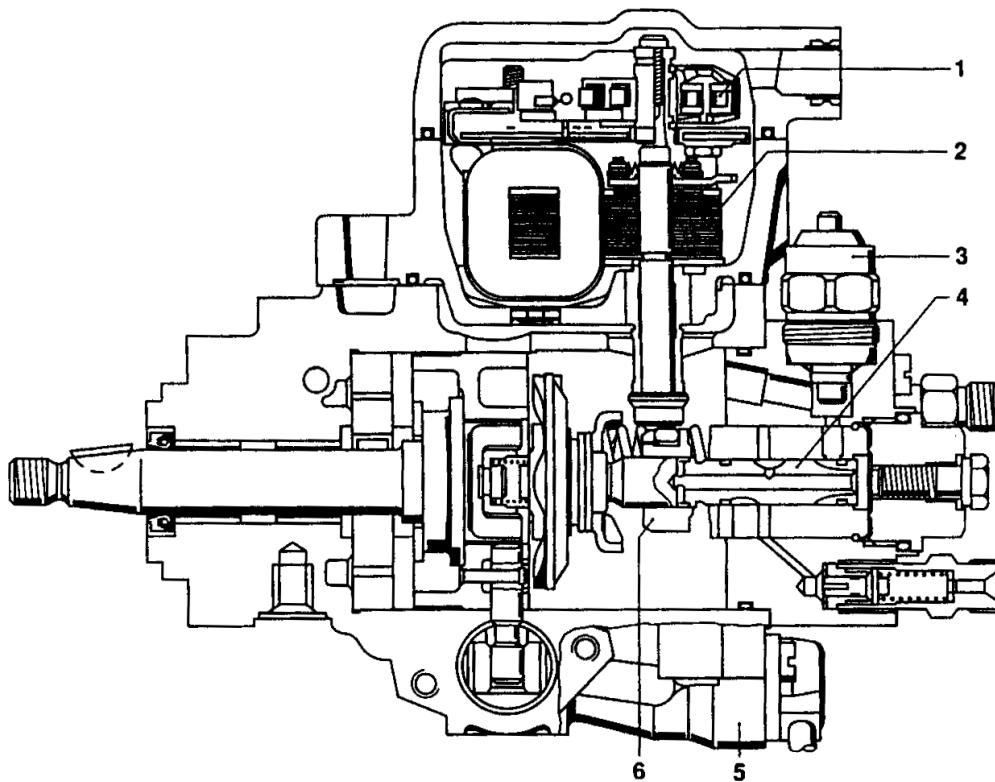


Рис. 4.10. ПНВТ VE з електронним керуванням

Подальший розвиток ПНВТ VE пов'язаний з переходом на систему регулювання циклової подачі за допомогою клапана – золотника 4, керованого

швидкодійним електромагнітним приводом 5 (рис. 4.11). Заміна ним регулюючої муфти плунжера здешевило виробництво прецизійних механічних елементів, дозволило індивідуалізувати подачу за циліндрами і навіть здійснювати двофазну подачу. Такі ПНВТ фірма випускає під марками VP-37 і VP-30.

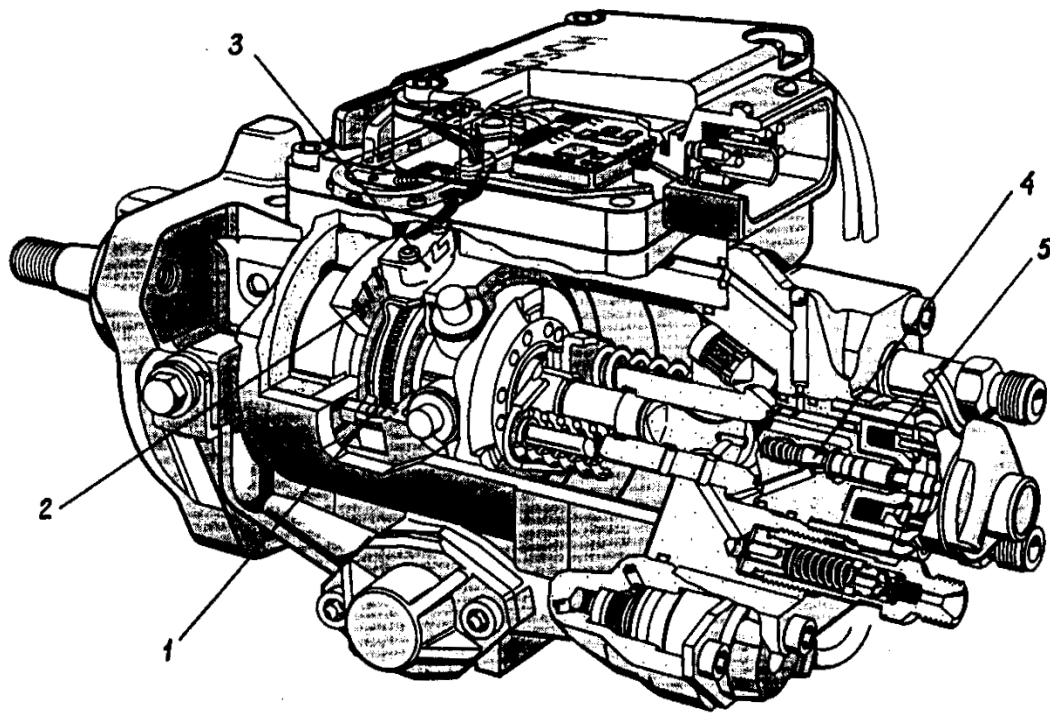


Рис. 4.11. ПНВТ VP-30 (VP-37) з електронним керуванням

Точне регулювання початку впорскування і його тривалості досягається використанням вбудованого в насос датчика 3 (рис. 4.11) положення вала. Це дає можливість відмовитися від використання датчика підйому голки першої форсунки.

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

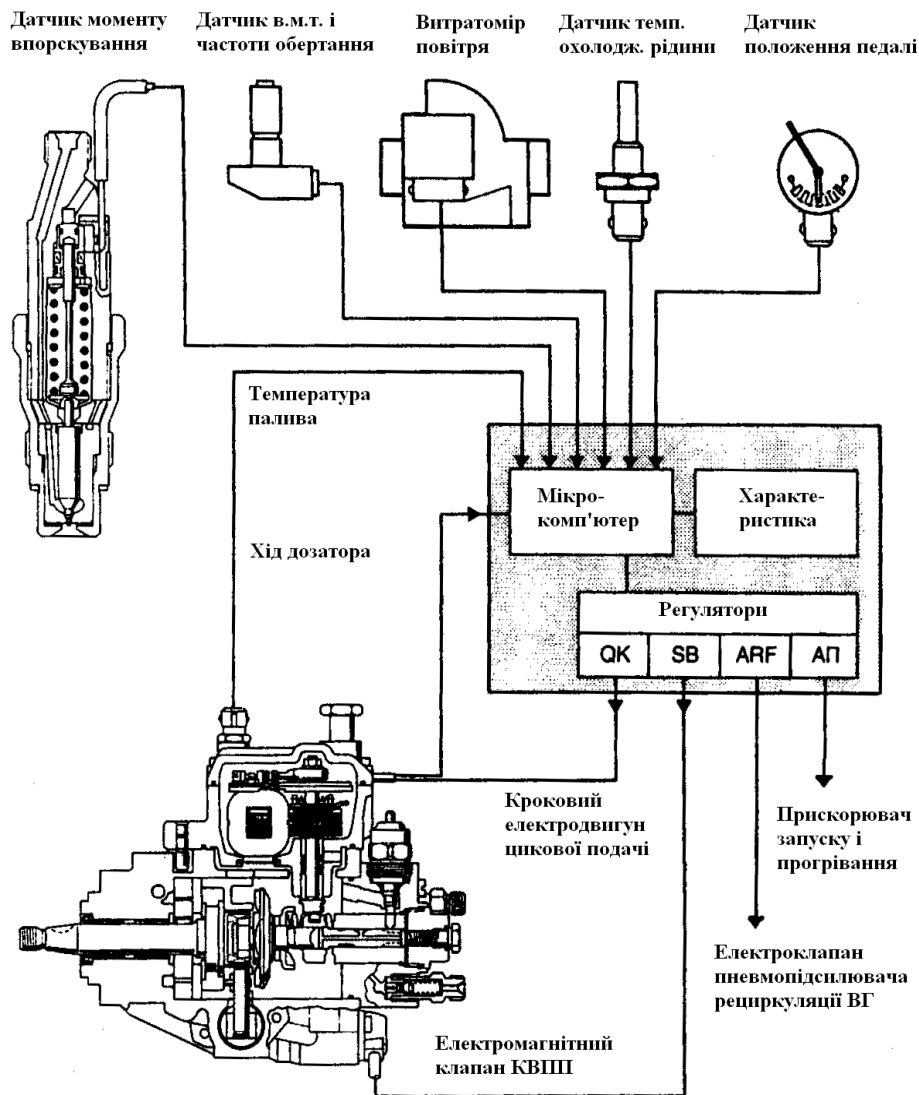


Рис. 4.12. Схема електронного керування дизеля легкового автомобіля з ПНВТ VE

Для дизелів кінця 90-х років з відкритою камерою згорання і частотою обертання 4000-4500 хв⁻¹ фірма "R.BOSCH" випускає двопружинні форсунки (рис. 4.13, а). Вони покликані забезпечити ступінчастість переднього фронту характеристики впорскування за рахунок швидшого відкриття голки 12 за першою пружиною 3, замикаючої її через тарілку 4 і шток 7. При подальшому підвищенні тиску голка вибирає зазор між верхнім торцем і заглибленням в нижньому торці втулки 11. Тоді через неї і тарілку 8 голка стискає другу пружину 6. Хід за другою пружиною обмежується упором буртика втулки 11 в проставку 10.

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

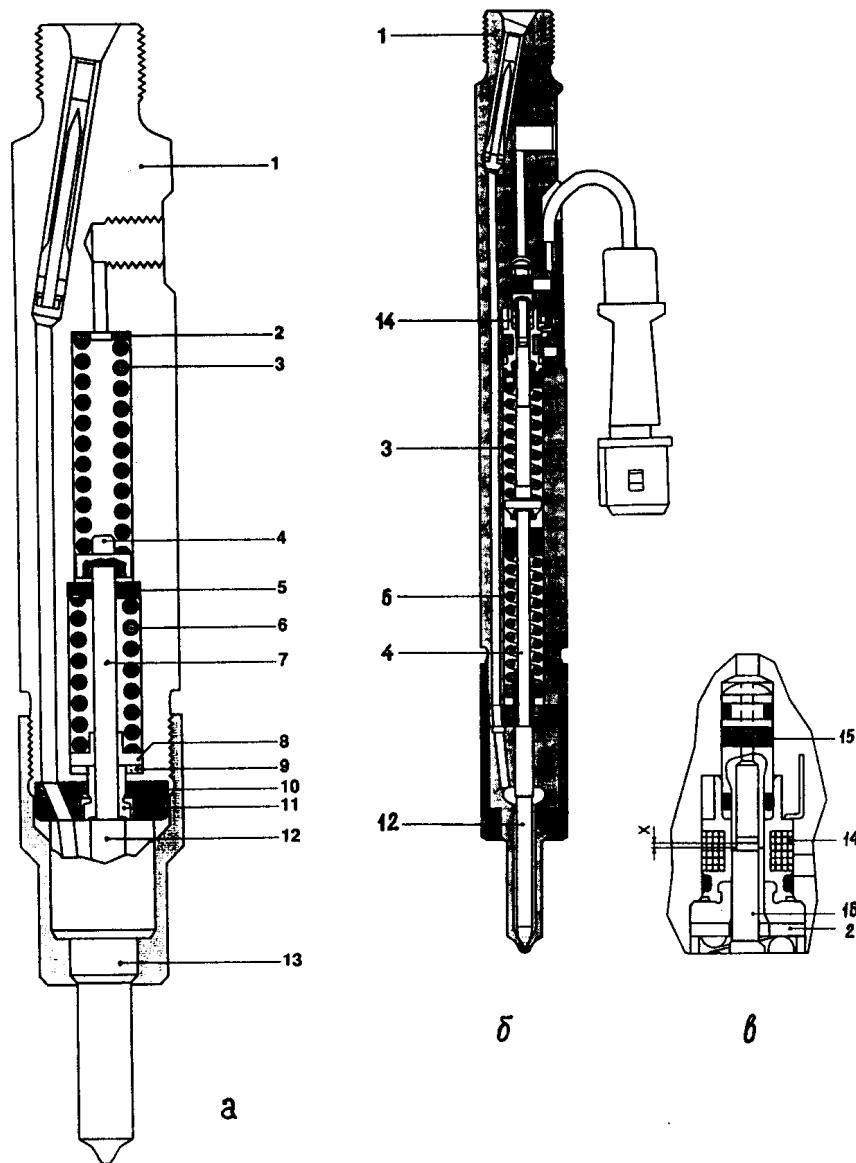


Рис. 4.13. Двопружинні форсунки R.Bosch:
а – 2-4-го циліндрів; б – 1-го циліндра; в – датчик піднімання голки

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

Двопружинні форсунки використовуються у ППА інтенсивного впорскування. У дизелях з відкритою камерою згорання для рівномірного

розподілу палива форсунки намагаються встановлювати центрально й вертикально. Для ППА з електронним керуванням випускаються двохпружинні форсунки з датчиком 14 підйому голки (рис. 4.13, б, в). У цьому випадку подовжена штанга 4 є рухомим осердям 16 індукційного датчика. Заспокоювач 15 радіального биття перешкоджає утворенню шумів сигналу.

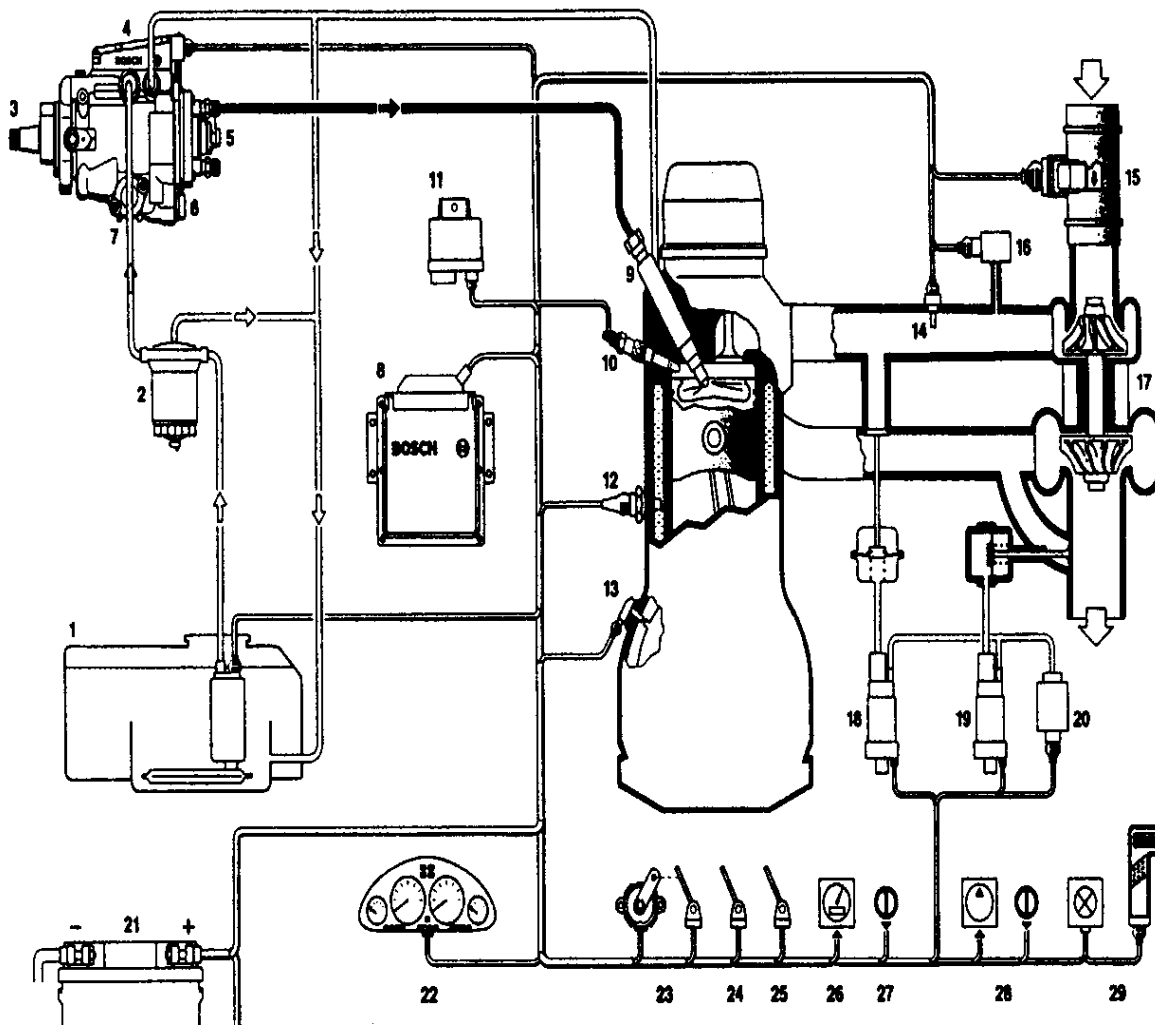


Рис. 4.14. Паливна система з ПНВТ VP-44 швидкохідного дизеля:

1 – бак, фільтр, електричний ППН; 2 – фільтр тонкого очищення; 3 – ПНВТ; 4 – блок керування ПНВТ; 5 – нагнітальні клапани; 6 – електроклапан керування КВПП; 7 – гідропривід регулювання КВПП; 8 – центральний блок керування; 9 – форсунка; 10 – свічка розжарювання; 11 – реле свічки; 12 – датчик температури рідини; 13 – датчик положення колінчастого вала; 14 – датчик температури повітря на впуску; 15 – витратомір повітря; 16 – датчик тиску повітря; 17 – турбокомпресор; 18 – регулятор рециркуляції відпрацьованих газів; 19 – перетворювач регулятора наддуву; 20 – компресор; 21 – акумуляторна батарея; 22 – панель приладів; 23 – паdaleь подачі палива; 24-26 – датчики; 27 – регулятор швидкості; 28 – датчик роботи кондиціонера; 29 – лампа самодіагностики і роз’єм для електронного мотор-тестера

4.2.3. Розподільний насос VP-44 фірми "R.BOSCH"

Найсучаснішим варіантом розподільних насосів фірми "R.BOSCH" є модель VP-44. Вона встановлюється на останніх моделях дизелів Opel, Audi, Ford, BMW. При $n=4200 \text{ хв}^{-1}$ тиск нагнітання в ПНВТ досягає 100 МПа, а тиск у форсунках – 130-150 МПа і навіть 175 МПа (BMW) і 185 МПа (Audi). Схема паливної системи з цим ПНВТ представлена на рис. 4.14. Особливістю ППА є схема її керування, включена в СК дизелем. Електронний блок складається з двох блоків, зокрема крайові каскади живлення електромагнітів розташовуються на корпусі ПНВТ. Форсунка в дизелях з 4 клапанами на циліндр розташовується співвісно циліндру, з двома – похило.

Розглянемо будову ПНВТ: його розріз зображений на рис. 4.15, функціональні схеми насоса – на рис. 4.16. Вал насоса і ротор розвантажені від осьових зусиль і обертаються у кулькових підшипниках (рис. 4.15). Роторнолопатевий ППН 3, на відміну від тих, що раніше використовувалися, має 4 роздільні, а не 2 цілі підпружинені пластини, що підвищує його ресурс.

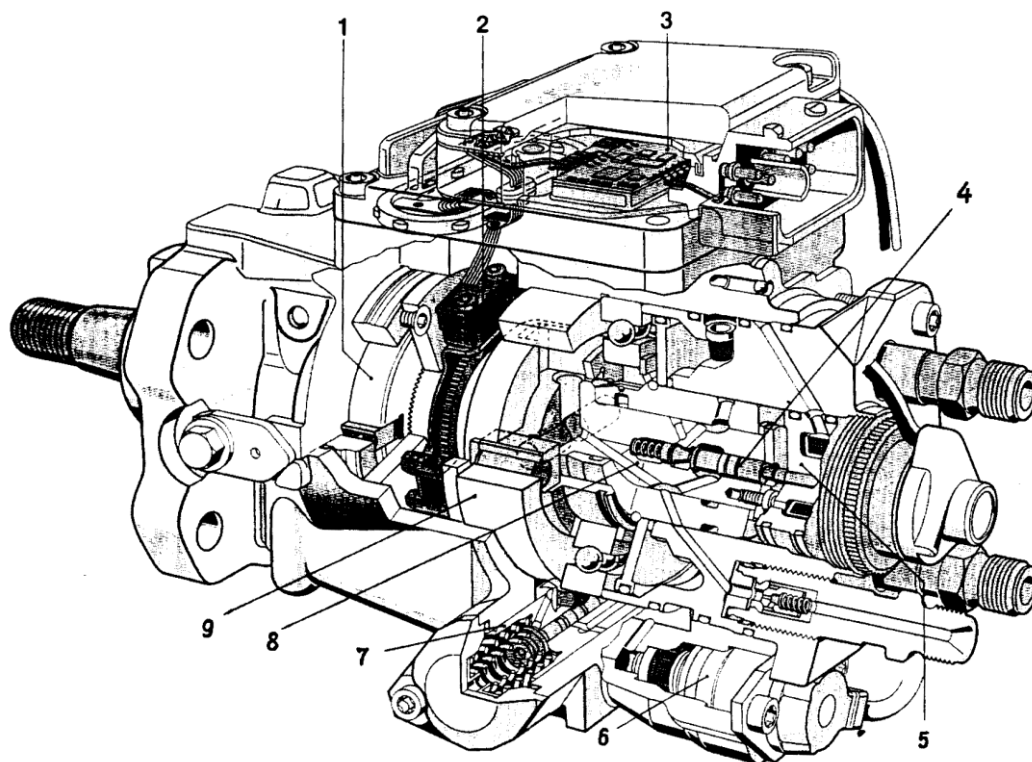


Рис. 4.15. ПНВТ VP-44:

1 – ППН; 2 – датчик частоти і положення вала; 3 – блок керування; 4 – золотник; 5 – електромагніт подачі; 6 – електромагніт КВПП; 7 – гідропривід КВПП; 8 – ротор; 9 – кулачкова шайба

Співвісно з привідним валом і ППН розташовуються датчик 2 частоти і положення вала (рис. 4.15), насосна секція, виконана заодно з ротором 8, що має канал-розподільник, електромагніт 5 керування подачею із золотником. Відповідно на рис. 4.16, а – поз. 4, 5, 12, 6. Регулятор 1 (рис. 4.16, а) з дренажним клапаном 10 підтримують постійний тиск підкачки. Поршневий демпфер не перешкоджає цьому, гасячи інтенсивні хвилі тиску при нагнітанні палива плунжерами при відкритому золотнику. Стежачий гідропривід 7 кулачкової шайби змінює КВПП відповідно до тиску палива, що регулюється електроклапаном 8.

Поява роторного розподільного ПНВТ була зумовлена тенденцією підвищення тиску впорскування і обмеженістю навантажень у приводі ПНВТ VE.

Кулачкова шайба за повідець може розвертатися у корпусі для регулювання КВПП (рис. 4.16). Його межі значно ширші: до 20° за валом ПНВТ. Зважаючи на великі тиски подачі та необхідні зусилля для розвороту кулачкової шайби, управляючий електроклапан 8 діє на гідропривід 7 з гідропідсилювачем. Електроклапан за командою СК регулює злив з управляючої порожнини 1 (рис. 4.17) і, отже, тиск в ній. При підвищенні тиску поршень 2 переміщається вправо. Тоді виконаний заодно з ним золотник 4 відкриває канал 5 і з каналів 3 паливо підвищеного тиску заповнює робочу порожнину 7, а сервопоршень 6 переміщається вправо. Тому такий привід іноді називають стежачим. При зменшенні керуючого тиску в порожнині 1 золотник 4 переміщається вліво, відкриваючи канал 8 і з'єднуючи робочу порожнину 7 з порожниною 9 низького тиску. Переміщення золотника і сервопоршня вліво відбувається під дією зворотних пружин. Рух сервопоршня зумовлює поворот кулачкової шайби 10 і зміну КВПП.

Необхідність у використанні гідропідсилення зумовлюється не тільки величиною зусилля реакції кулачкової шайби, але і її імпульсивністю. Під час подачі палива при зсуві шайбою сервопоршня вліво виникає негативний

зворотний зв'язок за тиском у порожнині 7 у результаті збільшення перетину 5 її підживлення і зменшення перетину 8 зливу палива. Отже, мінімізуються коливання шайби і стабілізуються показники впорскування.

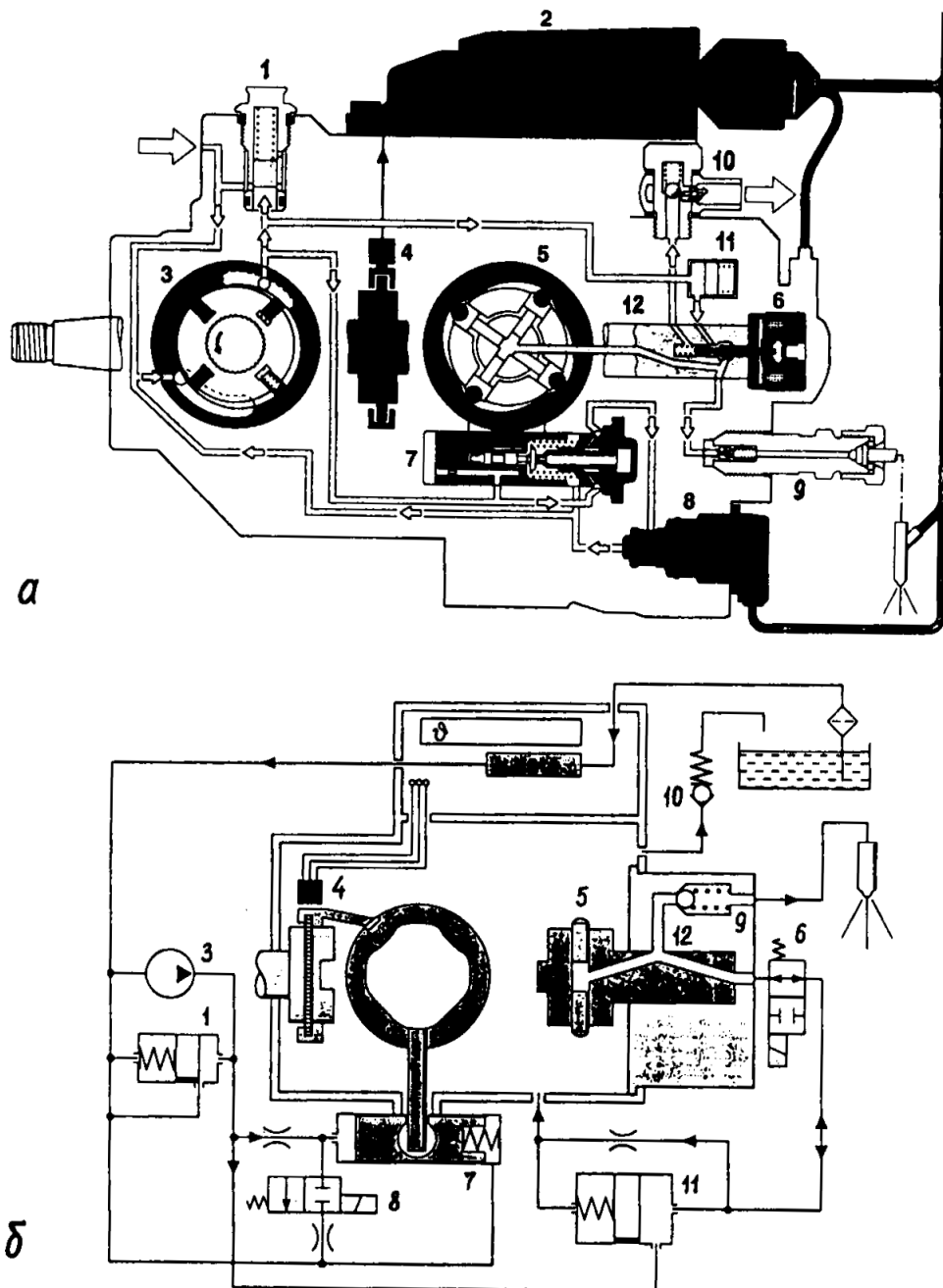


Рис. 4.16. Основні вузли і електрогідравлічна схема ПНВТ VP-44:

1 – регулятор тиску підкачування; 2 – блок керування ПНВТ; 3 – ППН; 4 – датчик частоти і положення вала; 5 – насосна секція; 6 – електроклапан керування подачею; 7 – гідропривід регулювання КВПІ; 8 електроклапан регулювання КВПІ; 9 – нагнітальний клапан; 10 – дренажний клапан; 11 – поршневий демпфер; 12 – ротор-розподільник

Розглянемо регулювання подачі за допомогою золотника 4 (рис.4.18). При наповненні плунжерної порожнини (рис. 4.18, а) розподільник 13 заглушений, якір із золотником 4 втягнутий в електромагніт 7, забезпечуючи прохід палива в плунжерну порожнину по каналах 12, 9, 13, 8 (за напрямом перебігу палива). При сходженні плунжерів (рис. 4.18, б) паливо від них по каналу 8, розподільнику 13, каналу 14, нагнітальний клапан 15 поступає до однієї з форсунок. Проте при сходженні плунжерів золотник може відкривати шлях паливу назад на впускання. Його закриття визначає геометричний початок подачі, відкриття – величину циклової подачі. Швидкодія приводу в змозі забезпечити двофазну подачу (параметри запальної порції – до $1,5 \text{ мм}^3$). Золотник 4 профілюється так, щоб не створювати невірноважену осьову гідравлічну силу.

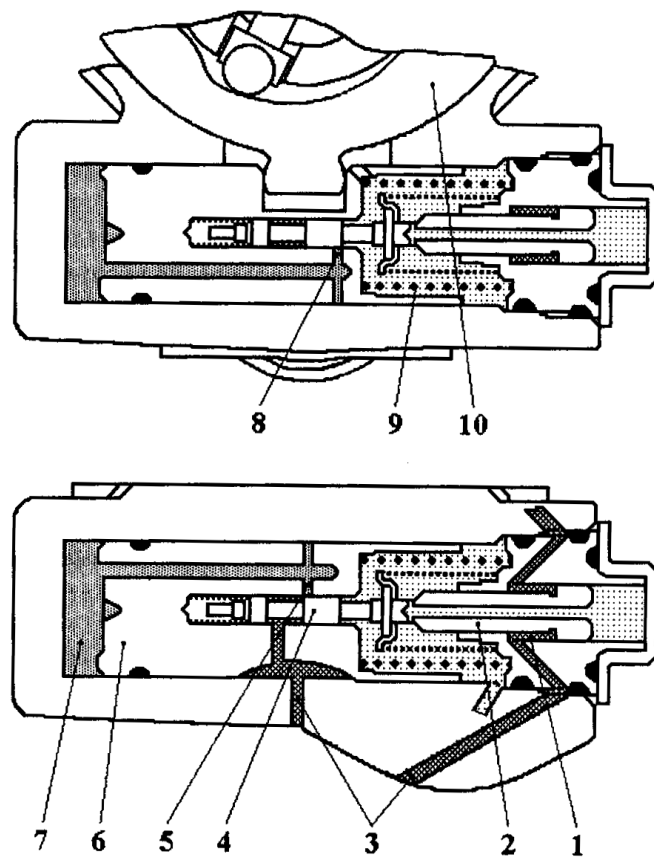


Рис. 4.17. Гідропривід кулачкової шайби регулятора КВПП:

1 – керуюча порожнина; 2 – керуючий клапан; 3 – напірні канали; 4 – керуючий золотник; 5 – напірний канал золотника; 6 – сервопоршень; 7 – робоча порожнина; 8 – зливний канал золотника; 9 – порожнина низького тиску; 10 – кулачкова шайба

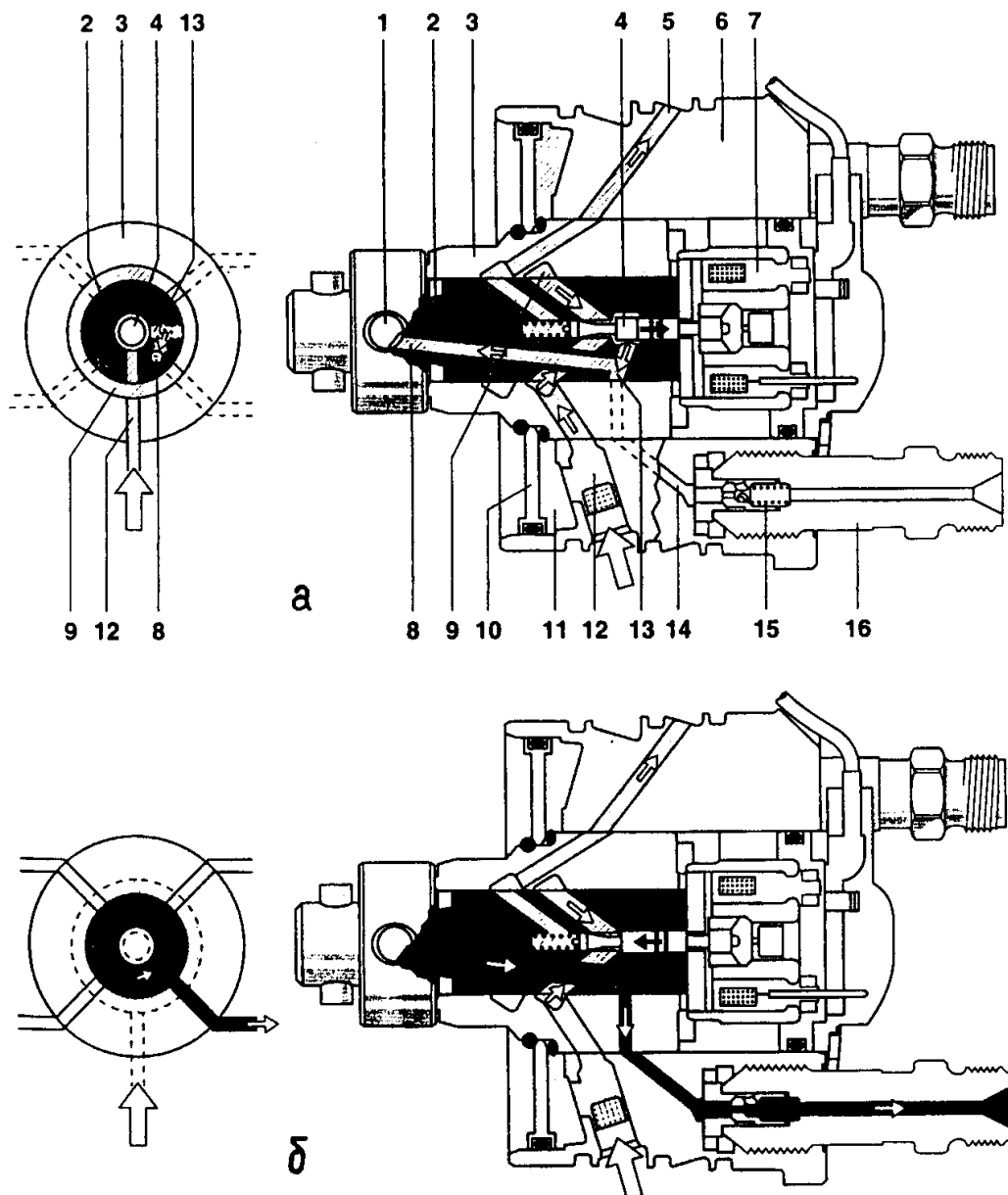


Рис. 4.18. Робота насосної секції і регулювання подачі:

а – наповнення; б – нагнітання

1 – плунжер; 2 – ротор; 3 – втулка ротора; 4 – золотник; 5 – канал зливу; 6 – головка ПНВТ; 7 – електромагніт керування подачею; 8 – канал плунжерної порожнини; 9 – канавка для впуску палива; 10 – розділювальна перегородка порожнин підкачування і зливу; 11, 12 – впускна порожнина; 13 – канал-розподільник; 14 – нагнітальний канал; 15 – нагнітальний клапан; 16 - штуцер

Тема 5. Насос-форсунки і безрейкові ПНВТ з електронним керуванням

План

5.1. Насос-форсунки.

5.2. Альтернативні системи з електронним керуванням.

5.1. Насос-форсунки

Підвищення інтересу до насос-форсунок останніми роками було спричинене їх відповідністю (при максимальній простоті конструкції) двом найважливішим тенденціям вдосконалення ППА: інтенсифікації впорскування і введенню електронного керування. Давно відомі переваги насос-форсунок: підвищення тиску впорскування за рахунок мінімізації об'ємів палива, що стискається, відсутність підвпорскування, зменшення номенклатури деталей, різке відсічення подачі, менше закоксування і більший ресурс розпилювача, менші витрати потужності, відсутність необхідності в нагнітальному клапані, зниження запізнювання впорскування щодо нагнітання плунжера, що зменшує розкид КВПП за частотами обертання і зменшує потрібний діапазон його регулювання.

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

Сьогодні насос-форсунки використовуються у дизелях з діаметром циліндра 67–300 мм. У дизелях FOCS Lamborghini вони представляють Г-подібну конструкцію з перпендикулярними осями насосної секції і розпилювача. Електрокерованими насос-форсунками забезпечені дизелі DSC 12 Scania, шестициліндрові дизелі 3176 Caterpillar, дизелі серії 60 Detroit Diesel, дизелі Volkswagen, MAN.

Обмежували застосування насос-форсунок недоліки: ускладнені умови компоновки головки, збільшений діаметр форсунки, більше зниження тиску впорскування на часткових режимах роботи, ускладнені та менш точні умови

регулювання рівномірності подачі по циліндрах, ускладнення приводу рейок і спеціального приводу автоматичного регулятора. У зв'язку з використанням електронного керування кількість переваг зросла, а недоліків - зменшилася. Так, плунжерна пара максимально спростилася, зник механізм повороту плунжера, рейкова тяга і індивідуальний автоматичний регулятор, відпала необхідність вирівнювання подачі по циліндрах при регулюванні, виникла можливість забезпечення двофазної подачі, регулювання КВПП, а тому підвищилися економічність, надійність пуску, знизилася емісія ВГ. Зниження тиску впорскування компенсується загальною інтенсифікацією подачі.

Насос-форсунки фірми **"Detroit Diesel Allison"** (відділення "General Motors"). Американська промисловість не припиняла використання насос-форсунок навіть в 60–70-ті роки – роки зниженого до них інтересу. Система DDEC-II (Detroit Diesel Electronic Control) (рис.5.1) для важких вантажних автомобілів почала вироблятися з 1985 р., а роботи із створення цієї ППА велися ще з 1978 р. Нині понад 4 мільйони таких насос-форсунок служать на транспортних дизелях, зокрема військового призначення.

На початку і на кінці руху плунжера 3 клапан 2 відкритий, забезпечуючи злив палива з плунжерної порожнини 4. Закриття його на короткий час зумовлює активний хід плунжера, тобто циклову подачу. Момент його включення дозволяє у широких межах змінювати КВПП, знижуючи емісію ВГ, покращуючи пуск, покращуючи характеристики дизеля, зокрема забезпечивши зниження експлуатаційної витрати палива на 5–8%. Наповнення плунжерної порожнини здійснюється також через клапан. Відсутність розрідження при наповненні і короткі нагнітальні канали дозволяють обійтися без нагнітального клапана. Клапан керування виконаний за схемою рис. 5.6 б, тобто є частково гідравлічно розвантаженим. Його власна частота 10 кГц. Цього виявляється достатньо для організації двофазного впорскування. Він дозволяє зменшити шумність роботи і зробити надійнішим пуск. Одна або декілька насос-форсунок з керуючими клапанами можуть бути вимкнені з роботи. Метод електричного

відключення насос-форсунок при діагностиці дизеля дозволяє швидко виявити несправну насос-форсунку.

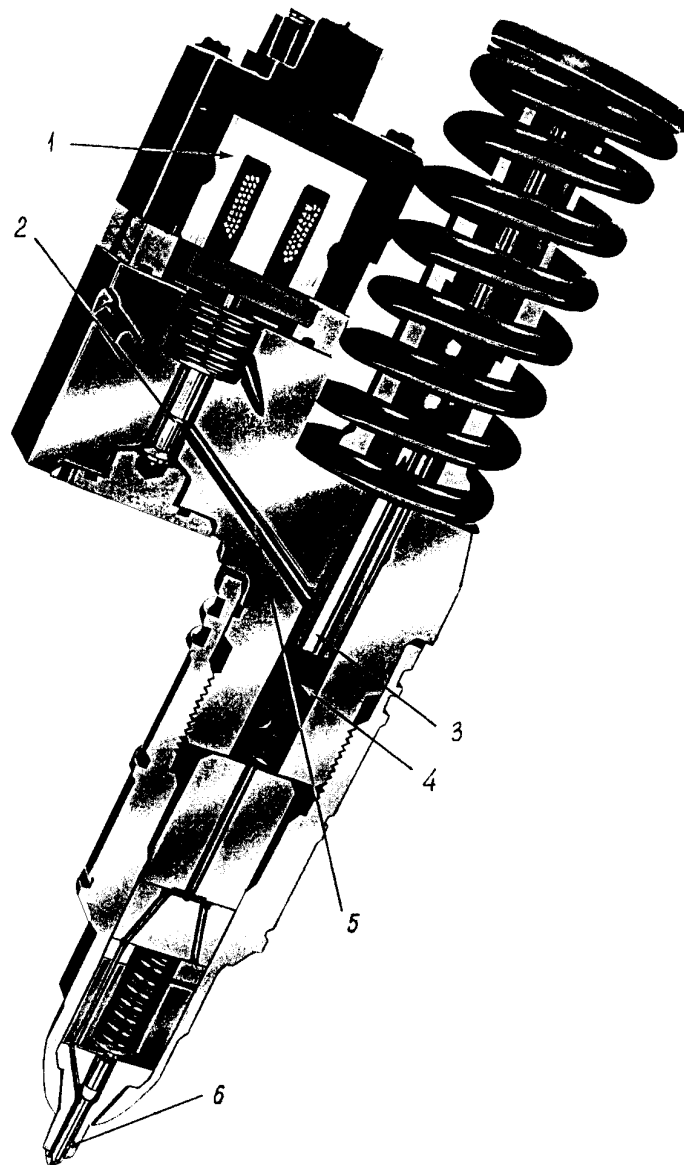


Рис. 5.1. Насос-форсунка системи DDEC-II фірми Detroit Diesel Allison:

1 – електромагніт; 2 – тарільчастий клапан керування; 3 – плунжер; 4 – плунжерна порожнина; 5 – канал керування; 6 – розпилювач

СК одержує інформацію від датчиків температури оливи, температури палива, температури охолоджуючої рідини, температури повітря на впуску; тиску наддуву, тиску оливи; положення колінчастого вала; положення дроселя. Залежно від типу енергоустановки застосовуються інші датчики.

Для виключення впливу зовнішніх електромагнітних перешкод сигнал, що керує електромагнітом за командою мікропроцесора, є частотно-

модульованим. Електронний блок використовує однокристальний мікропроцесор M01001a, працездатний при 125°C.

На кожному робочому режимі СК функціонує за закладеними алгоритмами та логічними умовами. Наприклад, коли оператор включає стартер, то СК перешкоджає впорскуванню, якщо частота обертання вала недостатня. Це запобігає білому диму і переохолодженню циліндрів паливом. СК змінює КВПП щодо нормального рівня. Після запуску частота обертання холостого ходу збільшується для прискорення прогрівання, поступово наближаючись до нормальної. Швидше прогрівання забезпечується за рахунок роботи тільки половини циліндрів, надалі включаються непрацюючі циліндри.

Насос-форсунки фірми "Lucas" – EUI (Electronic unit injectors) – призначені для малотоксичних дизелів з відкритою камерою згорання легкових автомобілів, автобусів і вантажівок. Спочатку типорозмірний ряд насос-форсунок забезпечував максимальні подачі 50, 100, 150 і 200 мм³/цикл. Зараз можливості такої ППА вищі. Вона застосовується, зокрема, на дизелях Volvo, John Deer, Detroit Diesel.

Така ППА може приводитися від верхнього або нижнього розподільних валів, може встановлюватися в головці з 2-ма або 4-ма клапанами.

Конструкція насос-форсунки Lucas дещо складніша, ніж попередня: паливо поступає і зливається через фільтр 7 (рис. 5.2) і порожнини, що охоплюють корпус. Канали високого тиску В і С з'єднують клапан 14 і розпилювач 10 з плунжерною порожниною, канал А використовується для зливу через клапан. Наповнення плунжерної порожнини здійснюється через клапан і впускне вікно 6.

Уже в зразках 1983 р. забезпечувалася запальна доза двофазного впорскування тривалістю до 8% від загальної, що відповідало 0,5 мс. Система забезпечує за допомогою швидкодійного клапана (його схема – на рис. 5.6 в) гнучке керування подачею і КВПП, зокрема на перехідних режимах. Забезпечується досконале сумішоутворення на холостому ході та низьких навантаженнях дизеля. СК забезпечена датчиками частоти обертання і

положення вала, температури й тиску повітря, температури охолоджуючої рідини. СК також пов'язана з іншими системами автомобіля, що забезпечує можливість всебічної діагностики. Дизелі з такими насос-форсунками відрізняються низькою емісією ВГ і шумністю роботи.

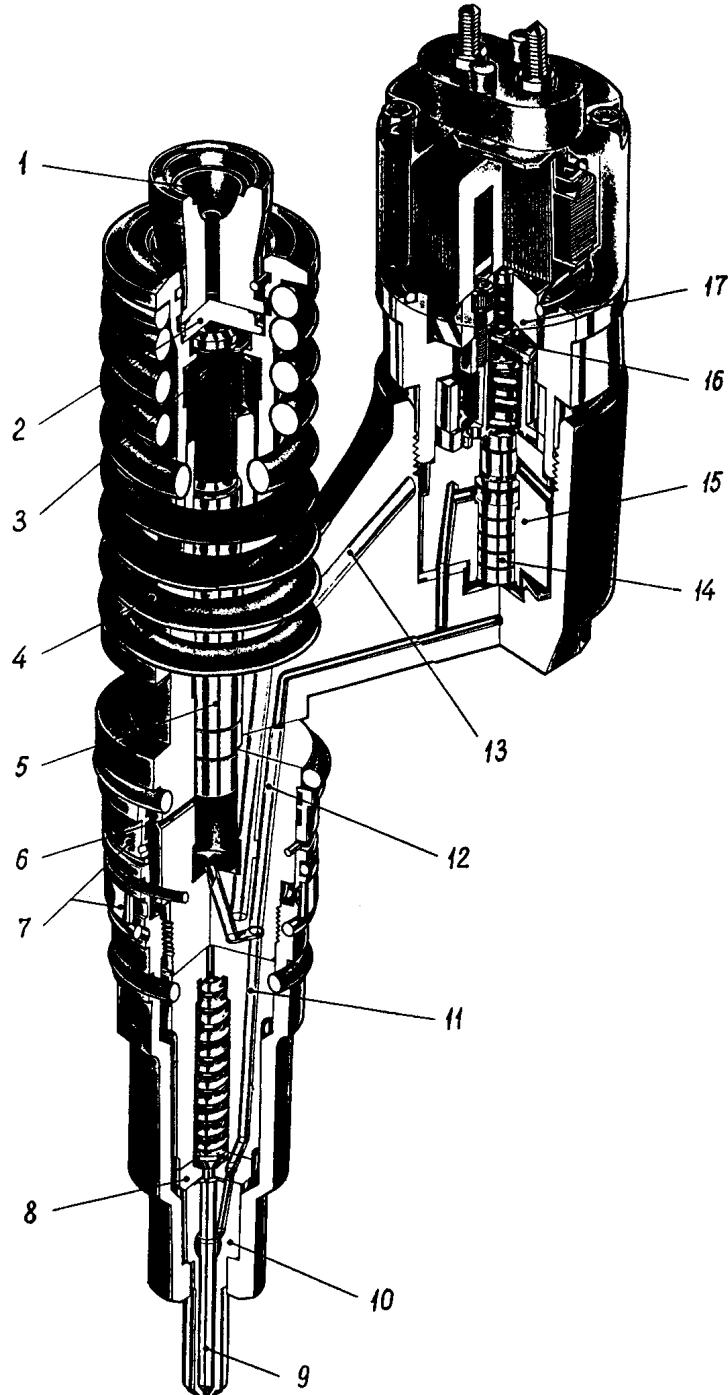


Рис. 5.2. Насос-форсунка EUI фірми Lucas:

- 1 – головка штовхача; 2 – подушка штовхача; 3 – пружинна шайба; 4 – зворотна пружина;
5 – плунжер; 6 – впускне вікно; 7 – кільцевий фільтр; 8 – проставка; 9 – голка;
10 – розпилювач; 11 – канал С; 12 – канал В; 13 – канал А; 14 – клапан керування зливом;
15 – напрямна клапана; 16 – зворотна пружина

Насос-форсунки Lucas-Bryce у змозі обслуговувати дизелі з числом циліндрів 6–16, частотою 100 хв^{-1} , потужністю 1250–3300 кВт. Для середньооборотних дизелів це відділення фірми пропонує типорозмірний ряд індивідуальних ПНВТ з електрокеруванним клапаном. Вони не мають рейок, керуючих кромek на плунжерах, механізмів їх повороту.

Фірма "R.Bosch" випускає насос-форсунки з електрокеруванням двох типів: для вантажівок і легкових автомобілів. На рис. 5.3 подана схема паливної системи фірми "R.Bosch", на рис. 5.4 і 5.5 – зовнішній вигляд і розрізи насос-форсунок. Насос-форсунки забезпечують тиск впорскування до 205 МПа.

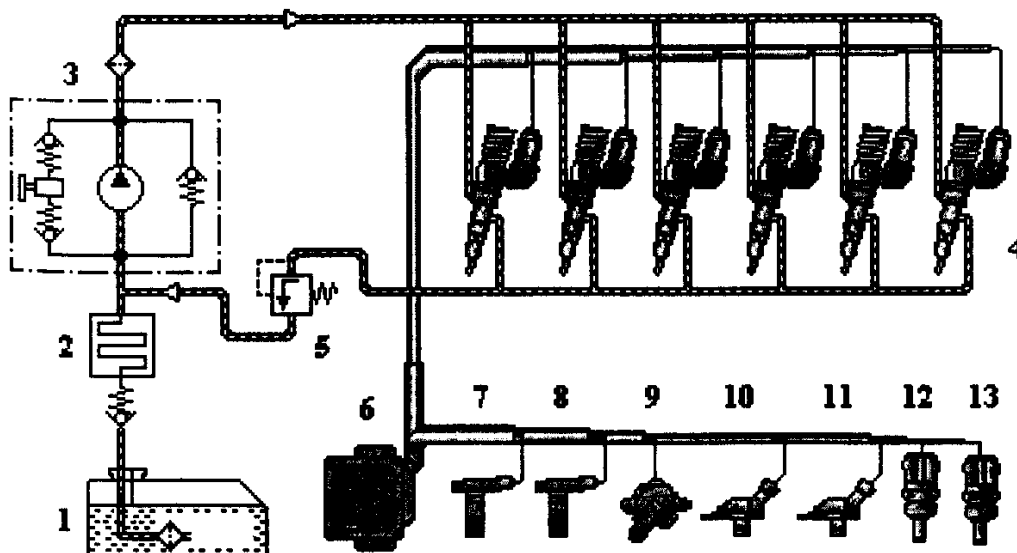


Рис. 5.3. Схема паливної системи R.Bosch з насос-форсунками:
1 – бак; 2 – теплообмінник; 3 – паливопідкачувальний насос; 4 – насос-форсунки;
5 – дренажний клапан; 6 – блок керування; 7-13 - датчики

Звичайно, зважаючи на особливості компоновки, ускладнюється розташування насос-форсунки співвісно з циліндром, її демонтаж і обслуговування (її верхня частина, на відміну від форсунок, не може знаходитися в атмосфері). Неспіввісне та похиле розташування насос-форсунки в дизелі з двома клапанами на циліндр не можливе. Проте висока якість впорскування разом з можливостями електронного керування подачею, включаючи і її характеристику, забезпечила виконання перспективних

екологічних норм, досягнення максимального крутного моменту, зменшення витрати палива.

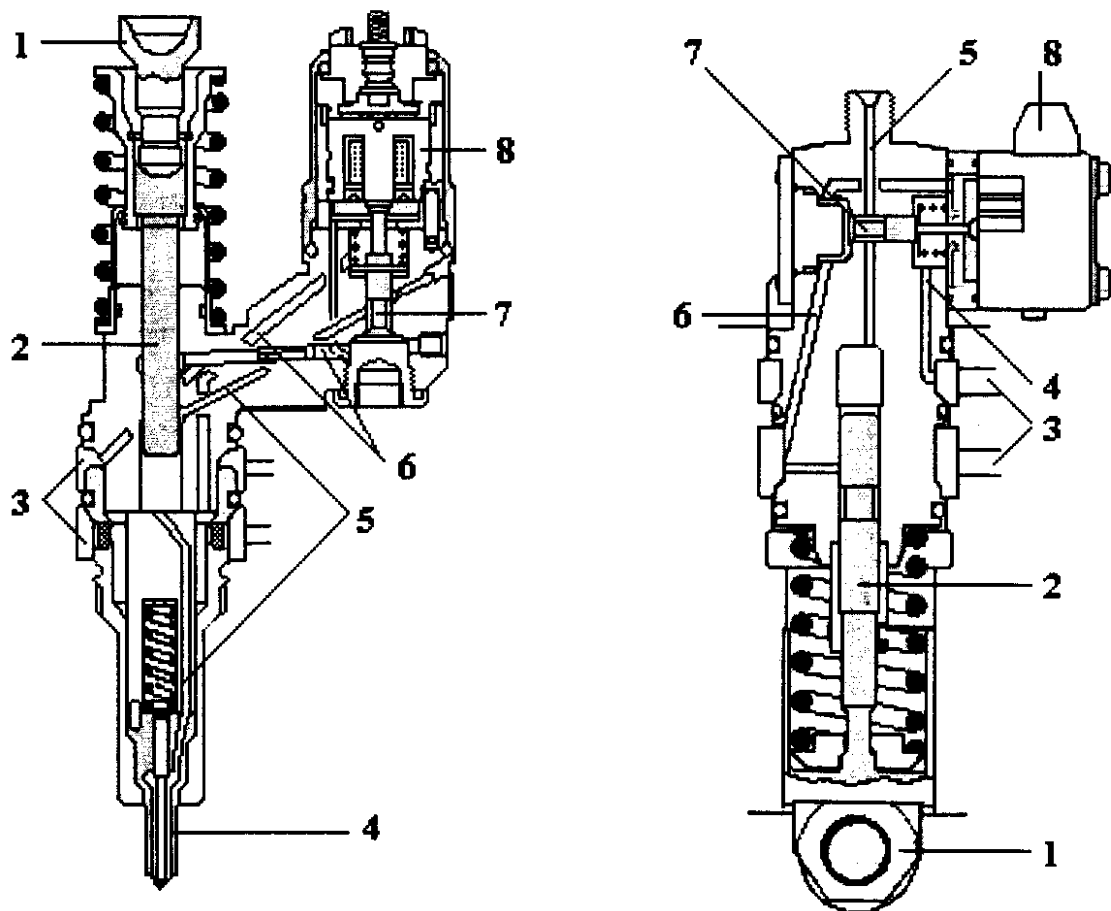


Рис. 5.4. Розріз насос-форсунки та індивідуального ПНВТ з швидкодіючим електромагнітним клапаном зливу фірми R.Bosch:

1 – штовхач; 2 – плунжер; 3 – порожнини підкачування і зливу; 4 – розподільник; 5 – канали високого тиску; 6 – канали низького тиску; 7 – клапан керування зливом; 8 – електромагнітний привід

Шляхом вдосконалення дизеля, а не шляхом застосування складних і тому малоперспективних рішень, вдалося врешті підійти до створення "двигуна постійної потужності" – тобто двигуна з пропорційним збільшенням моменту при зниженні частоти. Він, як відомо, дозволяє одержати якнайкращі динамічні якості автомобіля, зменшити число перемикачів передач при їзді, покращити економічність і прохідність автомобіля. Крім того, забезпечено виконання норм викидів шкідливих речовин на рівні Євро-III.

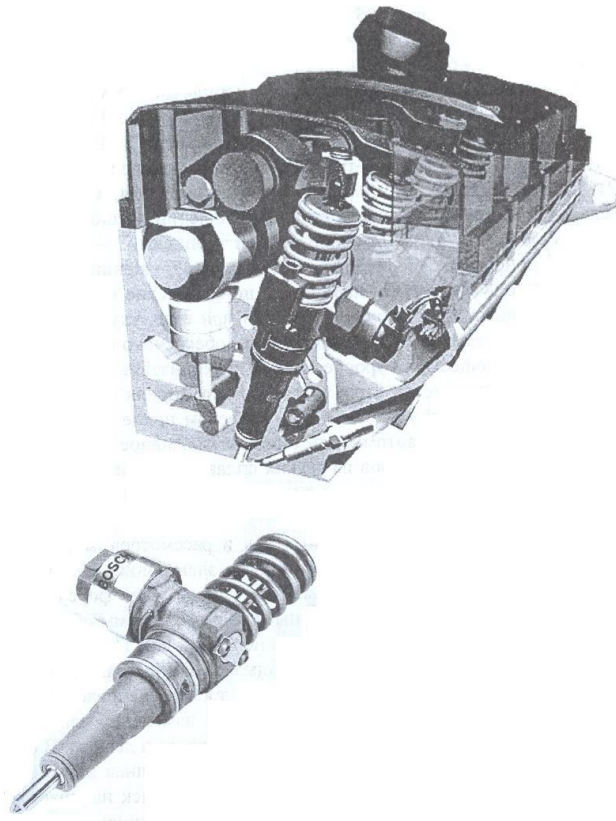


Рис. 5.5. Компонування і зовнішній вигляд електрокерованої насос-форсунки R.Bosch

ПНВТ з клапаном керування зливом, як і розглянуті насос-форсунки, забезпечує всі згадані можливості електронного керування цикловою подачею і КВПП. Така ППА комплектується звичною форсункою, при цьому зберігаються звичні компонувальні рішення, прийоми обслуговування і регулювання ППА. На рис. 5.4 подано зовнішній вигляд ППА і розріз ПНВТ дизеля вантажного автомобіля. ППА з подібним ПНВТ вигідно відрізняється від інших, оскільки забезпечує швидше, точніше керування у ширших межах зміни параметрів, включаючи і характеристику впорскування, а також більш простіша і дешевша.

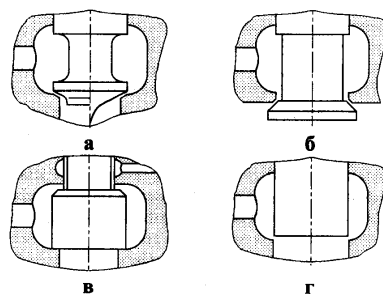


Рис. 5.6. Типи клапанів керування зливом з електронним керуванням

Єдиним складним і нетрадиційним елементом таких ПНВТ і насос-форсунок є клапан керування. До його швидкодії ставляться підвищені вимоги: він повинен спрацьовувати в обидві сторони на швидкохідному дизелі за час не більший 0,1–0,2 мс. Це виявляється можливим не тільки при малих масах і зусиллях електромагніту більше 250 Н, але і при гідравлічній розвантаженості клапана, тобто рівній нулю рівнодійній від значних гідравлічних сил.

5.2. Альтернативні системи з електронним керуванням

Пропонувалося чимало систем з силовим електрокеруванням впорскуванням (електроприводом виконавчих механізмів).

Електророзряд в камері форсунки з використанням ефекту Юткіна забезпечує отримання такого високого тиску впорскування (до 1000 МПа), який просто не потрібен для дизеля, але, головне, електроди швидко втрачають здатність створювати потужний розряд у камері через шунтування розрядного проміжку відкладеннями коксу.

Системи з силовим п'єзоприводом. П'єзопривід все ширше використовується у технічних пристроях, а характеристики п'єзоелектриків останніми роками значно покращилися. Стосовно ППА п'єзопривід володіє рядом безперечних переваг: високі ККД, зусилля, малий нагрів, реверсивність, відсутність струму утримання. За комплексом параметрів ППА з п'єзоприводом насосного елементу виглядає найперспективнішою для впорскування бензину в циліндр з тиском 5–25 МПа. Незначні переміщення п'єзопривода змушують збільшувати діаметр плунжера або мембрани.

ППА з електродинамічним двигуном орієнтована на впорскування за допомогою плунжерної насосної секції. У електродинамічному двигуні при пропусканні через котушку імпульсу струму відштовхуюче зусилля на немагнітному електропровідному якорі утворюється магнітним полем вихрових струмів, протилежним полю котушки. ППА найкращим чином реалізується у вигляді насос-форсунки або з трубопроводом довжиною менше 150–250 мм.

Гідроударна ППА (рис. 5.7) також найбільш підходить для безпосереднього впорскування бензину. У початковому положенні електрокерований клапан 5 відкритий, і паливо розганяється в трубопроводі 1. При його закритті в результаті гідроудару через заздалегідь відкритий клапан 4 даної форсунки здійснюється впорскування.

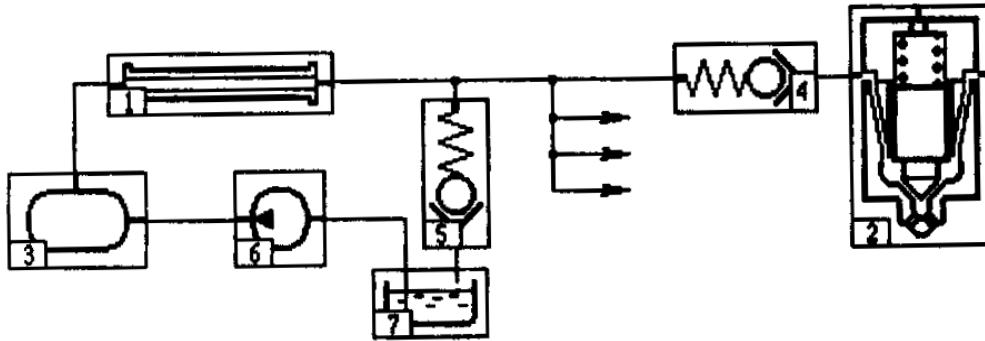


Рис. 5.7. Схема гідроударної ППА

Акумуляторна ППА з мультиплікатором тиску (насос-форсунка з гідроприводом плунжера) до середини 90-х років вважалася найперспективнішою акумуляторною системою з електронним керуванням. У цьому напрямі працювали МАДІ, ЦНІТА, Воронежський ЛТІ, зарубіжні фірми. Родоначальником таких систем були системи з механічним розподільником.

Згадані вище розробки не знайшли широкого застосування через свою складність і високу вартість.

Тема 6. Акумуляторні паливні системи з електронним керуванням

COMMON RAIL

План

- 6.1. Склад акумуляторної паливної системи.
- 6.2. Паливopідкачувальний насос і фільтри.
- 6.3. ПНBT для акумуляторної паливної системи .
 - 6.3.1. Насоси німецьких фірм.
 - 6.3.2. Аналіз конструкцій ПНBT і їх вдосконалення.
 - 6.3.3. Вимоги до ПНBT для Common Rail.
- 6.4. Акумулятор, запобіжний клапан, датчик тиску, аварійний обмежувач подачі.
- 6.5. Електрогiдрaвлічні форсунки Common Rail.

6.1. Склад акумуляторної паливної системи

Сьогодні ця система є лідером серед новітніх розробок вугалузі паливної апаратури дизелів. Суть її полягає в тому, що насос високого тиску більше не займається подачею певної порції палива до кожної конкретної форсунки. Це завдання розв'язують електромагнітні клапани самих форсунок, сигнали яким подає комп'ютер.

Першим промисловим зразком акумуляторної паливної системи з електронним керуванням без мультиплікаторів тиску, названої Common Rail ("Загальний шлях", тобто загальна для форсунок магістраль, акумулятор), стала сумісна розробка фірм "Robert Bosch GmbH", "FIAT", "Elasis". У даний час роботи над цією системою ведуться практично в усіх фірмах-виробниках ППА та в багатьох дизелебудівних фірмах. У Росії ведуться розробки для дизелів ЗМЗ та ЯМЗ.

На рис. 6.1 показано зовнішній вигляд основних механічних елементів CR, а на рис. 6.2 – загальну електрогiдрaвлічну схему паливної системи CR R.Bosch для дизеля легкового автомобіля.

На рис. 6.3 показано компоновку основних елементів CR на дизелі BMW DI, а на рис. 6.4 – гiдромеханічну схему установки CR на сучасному російському дизелі з відкритою камерою згорання – ЗМЗ-514. Як видно з рис. 6.3, до числа функціональних елементів належать і нагнітальні трубопроводи

від акумулятора до форсунок: на відміну від бензинових систем без них не вдається обійтися. Вони мають довжину 150–240 мм, що в поєднанні з довгими каналами сучасних форсунок призводить до утворення складних хвильових процесів. Без їх точного розрахунку не можна спроектувати систему, а в експлуатації не можна допускати нерівноцінну заміну трубопроводів.

Варіант системи CR автомобіля Mercedes-Benz C220 CDI зображений на рис. 6.5. Відсічний клапан 5 нормально відкритий, але дозволяє аварійно вимкнути з роботи ПНВТ. Основна відмінність системи – багатоетапна теплопередача.

Оскільки тиск палива, в основному, регулюється зливом через електроклапан 9, у лінії високого тиску виділяється більше теплоти, тому застосовано охолоджувач 10 палива, що іде на злив. До нього подається охолоджуюча рідина, менш нагріта, ніж у дизелі. Для цього використано спеціальний низькотемпературний радіатор 12.

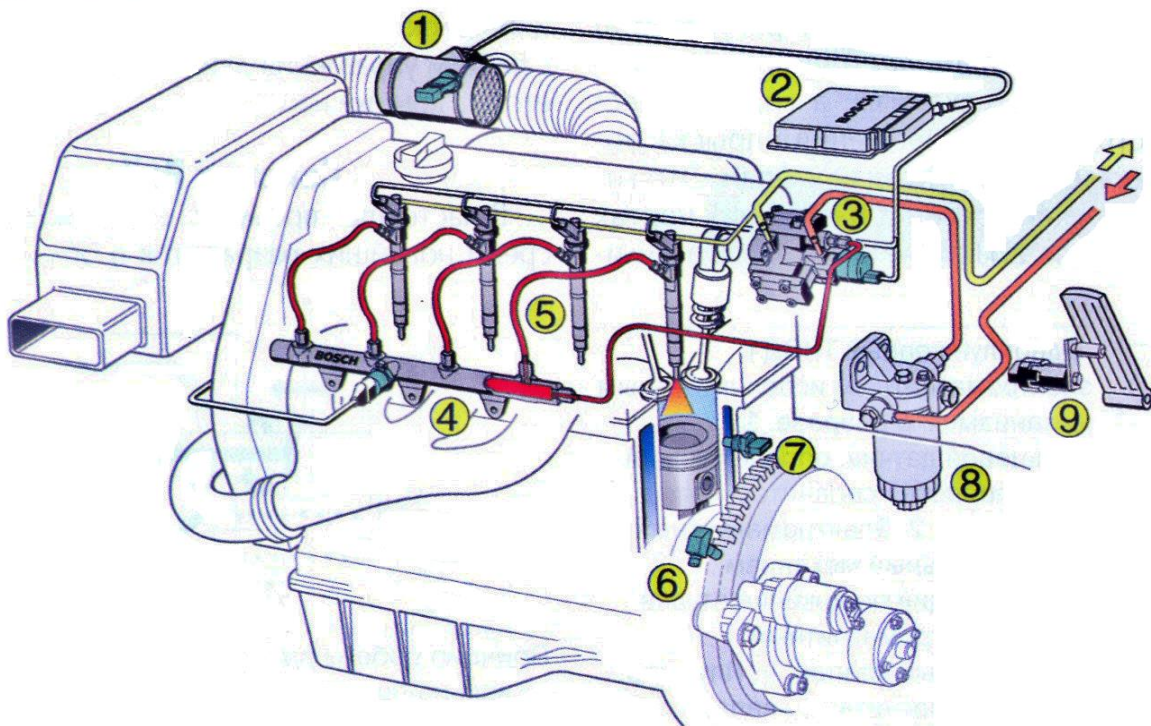


Рис. 6.1. Зовнішній вигляд основних елементів системи CR:

- 1 – витратомір повітря; 2 – електронний блок керування; 3 – ПНВТ; 4 – акумулятор палива; 5 – форсунки; 6 – датчик частоти обертання колінчастого вала; 7 – датчик температури; 8 – фільтр; 9 – датчик педалі подачі палива

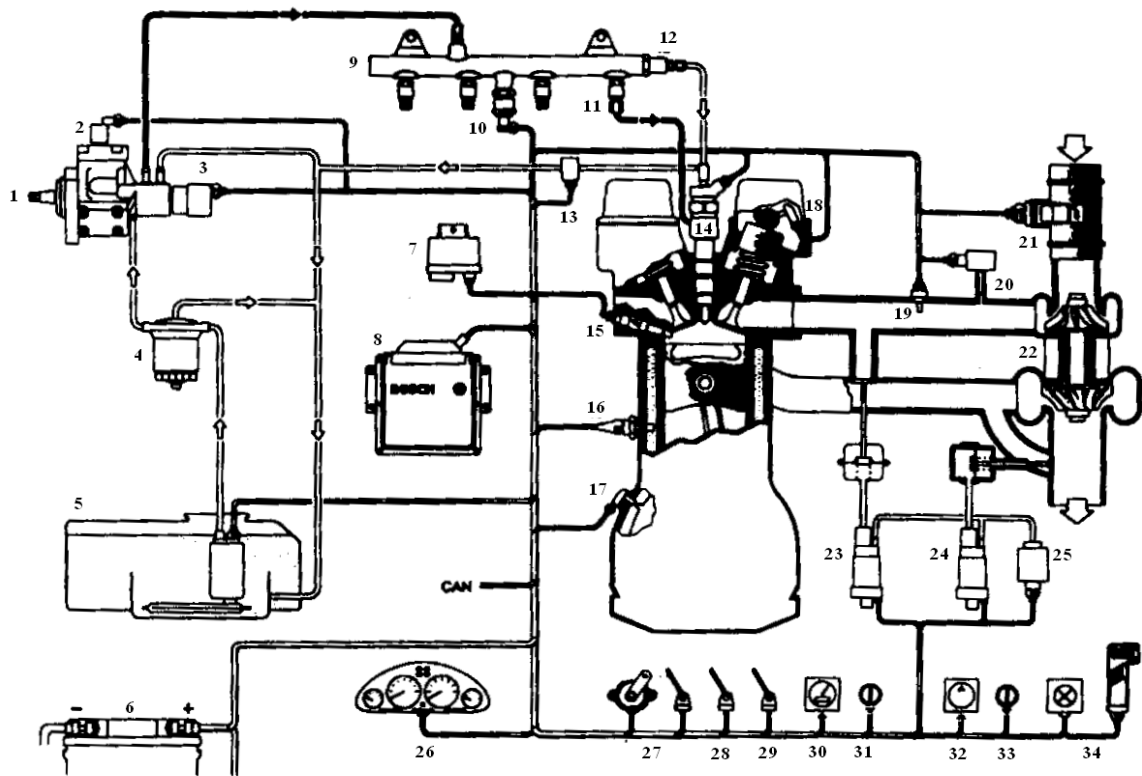


Рис. 6.2. Система CR в складі швидкохідного автомобільного дизеля:

1 – ПНВТ; 2 – впускний електроклапан; 3 – електроклапан перепуску на зливання; 4 – фільтр тонкого очищення; 5 – бак, фільтр, електричний ППН; 6 – блок керування; 7 – реле свічки; 8 – акумуляторна батарея; 9 – гідроакумулятор CR; 10 – датчик тиску; 11 – аварійний обмежувач подачі; 12 – запобіжний клапан; 13 – датчик температури палива; 14 – електрогідравлічна форсунка; 15 – свічка розжарювання; 16 – датчик температури рідини; 17 – датчик частоти обертання і положення колінчастого вала; 18 – датчик такту дизеля; 19 – датчик температури повітря на впуску; 20 – датчик тиску повітря; 21 – витратомір повітря; 22 – турбокомпресор; 23 – перетворювач регулятора рециркуляції відпрацьованих газів; 24 – перетворювач регулятора наддуву; 25 – компресор; 26 – панель приладів; 27 – паdale подачі палива; 28-30 – датчики; 31 – задавач швидкості; 32 – компресор кондиціонера; 33 – датчик роботи кондиціонера; 34 – лампа самодіагностики і роз’єм для електронного мотор-тестера

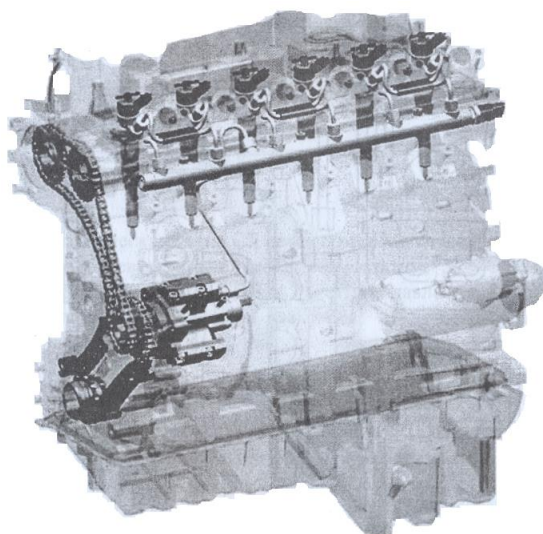


Рис. 6.3. Компонування системи CR на автомобільному дизелі BMW DI

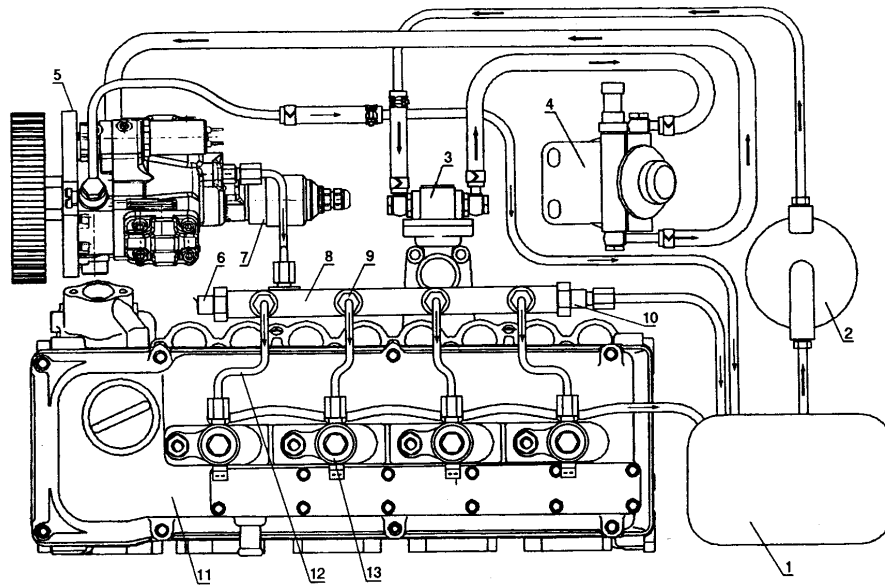


Рис. 6.4. Гідравлічна схема паливної системи CR дизеля 3МЗ-514:

1 – паливний бак; 2 – фільтр грубого очищення; 3 – ППН; 4 – фільтр тонкого очищення;
5 – ПНВТ; 6 – датчик тиску; 7 – регулятор тиску; 8 – акумулятор CR; 9 – аварійний обмежувач подачі; 10 – запобіжний клапан; 11 – дизель; 12 – нагнітальний трубопровід; 13 – електрогідравлічна форсунка

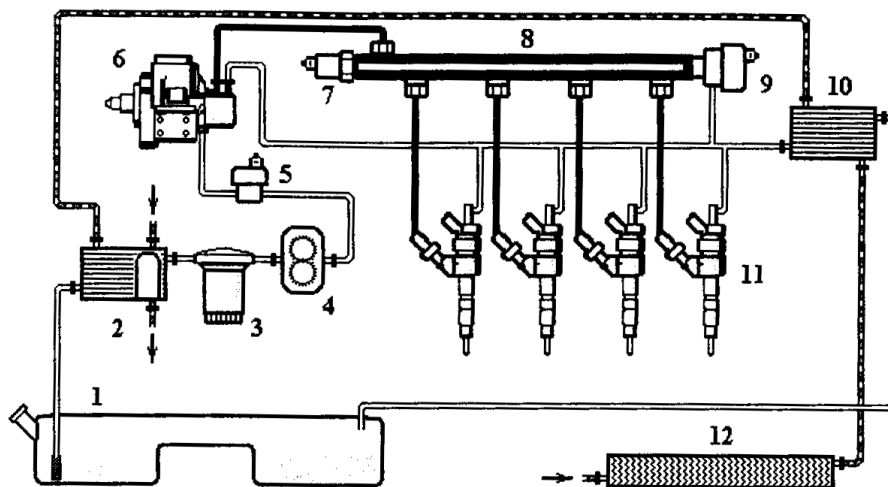


Рис. 6.5. Гідравлічна схема CR автомобіля Mercedes-Benz C220 CDI:

1 – бак; 2 – підігрівач палива з термостатом; 3 – фільтр тонкого очищення; 4 – ППН;
5 – відсічний електроклапан; 6 – ПНВТ; 7 – датчик тиску; 8 – акумулятор CR; 9 – регулятор тиску; 10 – охолоджувач палива; 11 – електрогідравлічна форсунка;
12 – низькотемпературний повітряний радіатор

6.2. Паливopідкачувальний насос і фільтри

До паливopідкачувальних насосів ставлять вимоги, аналогічні для традиційної ППА. Фірма R.Bosch пропонує використання шестерінчастих і роторних (роликових) насосів (рис. 6.6) з автономним електроприводом,

зокрема занурених у паливний бак. Паливна система Siemens відрізняється розташуванням фільтра тонкого очищення перед підкачувальним насосом. Тиск подачі визначається наповненням плунжерного простору, забезпеченням мастилом і повинен мати значення 0,5–0,8 МПа. На рис. 6.6 редуційний клапан вбудовано в насос. Інший клапан, встановлений на виході або вході з насоса, запобігає його спорожненню і забезпечує швидку готовність до пуску. Шестерінчасті насоси із зовнішнім зачепленням шестерень фірма пропонує приводити в дію механічно. На автомобілі Mercedes-Benz C220 CDI (рис. 6.5) такий насос приводиться розподільним валом, оснащений редуційним клапаном і забезпечує тиск подачі 0,3–0,5 МПа.

Традиційні для дизелів поршневі паливopідкачувальні насоси також можуть задовольняти вимоги системи CR.

Фільтри грубого та тонкого очищення палива мають показники якості і повноти очищення від води й домішок типові для дизельної паливної апаратури.

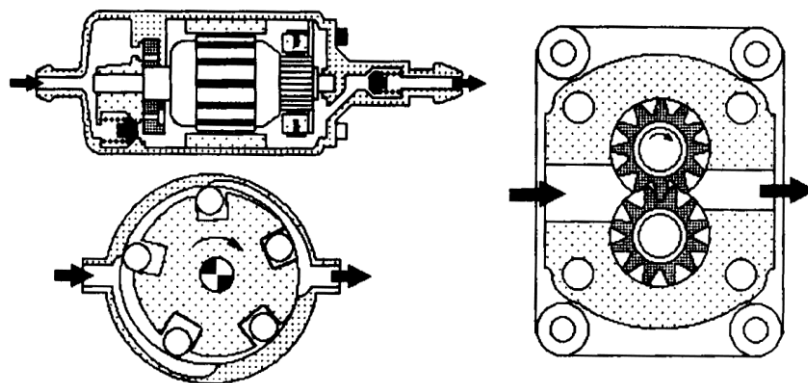


Рис. 6.6. Роторний і шестерінчастий ППН фірми R. Bosch

6.3. ПНВТ для акумуляторної паливної системи

6.3.1. Насоси німецьких фірм

ПНВТ системи CR фірми "Robert Bosch GmbH" для легкового автомобіля з дизелем 2–2,5 л зображений на рис. 6.7.

Насос побудований за зіркоподібною схемою (у гідравліці такі насоси називаються радіально-плунжерними). Вибір компоновки фірма обґрунтовує кращими показниками за габаритами, вартістю, ККД і довговічністю. З радіально-плунжерних насосів з 1–5 променями за комплексом функціональних і вартісних показників фірма вважає оптимальним три або чотирипроменеву зірку.

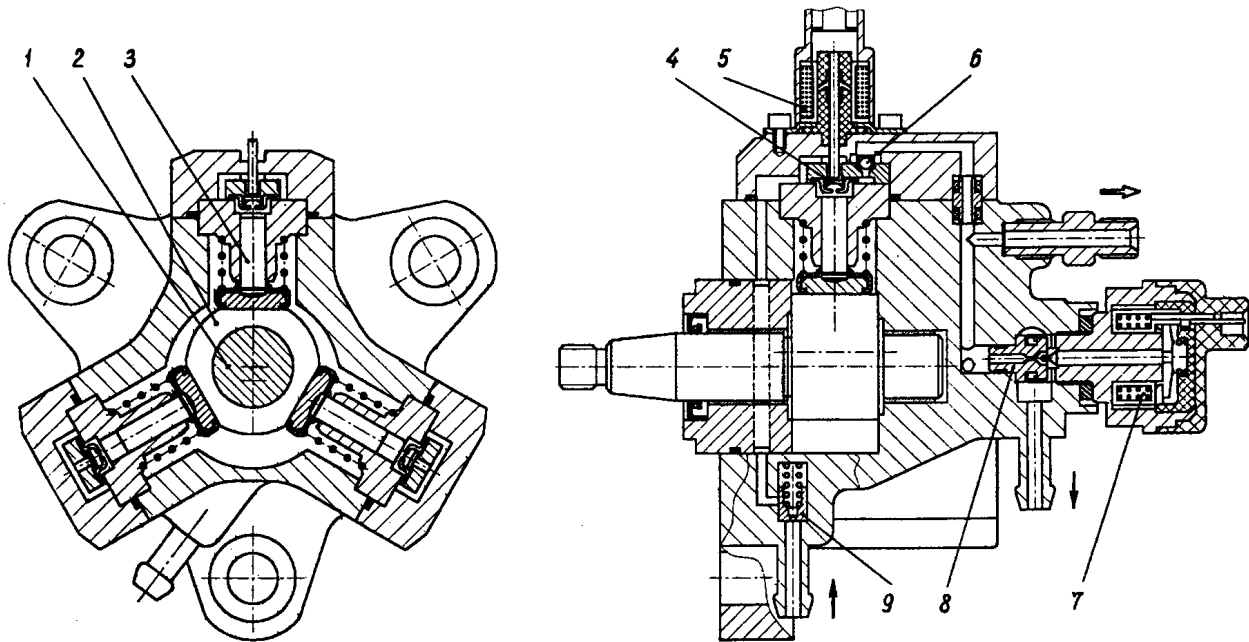


Рис. 6.7. Радіально-плунжерний ПНВТ CR фірми R. Bosch:

1 – ексцентриковий вал; 2 – втулка; 3 – плунжер; 4 – впускний клапан;
5 – електромагніт впускного клапана; 6 – випускний клапан; 7 – електромагніт регулятора тиску; 8 – сідло клапана регулятора; 9 – проти дренажний клапан

Радіально-плунжерний (зіркоподібний) ПНВТ забезпечує рівномірність завантаження привідного валу. Отже, вимоги до приводу ПНВТ знижуються до рівня вимог до приводів інших допоміжних агрегатів двигуна, що вельми важливо при тиску впорскування 120–180 МПа.

Сьогодні фірма випускає насоси другого покоління, що відрізняються підвищеною працездатністю приводу плунжерів, використанням автоматичних кулькових клапанів впуску, регулюванням продуктивності дроселюванням на всмоктуванні, компоновкою сумісно з підкачуючим шестерінчастим насосом.

За такою же конструктивною схемою виконаний ПНВТ фірми "Siemens". У ньому також забезпечується можливість глибокого регулювання продуктивності без погіршення ККД.

6.3.2. Аналіз конструкцій ПНВТ

Типи ПНВТ. Аксиальні насоси промислової гідравліки та гідроавтоматики, що випускаються промисловістю, розраховані на максимальний тиск 28 або зрідка на 40 МПа. Невеликими партіями випускаються радіально-плунжерні насоси на 63 МПа. Проте всі вони використовують гідравлічні масла з в'язкістю більшою, ніж в'язкість дизельного палива. Відомі також високонапірні насоси для нагнітання поліетилену під високим тиском (до 600 МПа). Вони оснащені довгими плунжерами, відрізняються малою швидкістю і великими габаритами. Створення високонапірних насосів для малов'язких рідин обмежується можливостями наявного технологічного устаткування. Такі насоси на тиск 100–200 МПа рідини в'язкістю 3–4 сСт не є відпрацьованими надійними виробами.

У ранніх зразках систем використовувалися традиційні ПНВТ. Вони зазнавали незначної модернізації або зовсім не змінювалися. Такий підхід був виправданий як тимчасовий. У більш довгостроковій перспективі необхідна істотна переробка ПНВТ.

Можливість і доцільність конструювання рядних ПНВТ CR з використанням традиційних технічних рішень підтверджується практикою виробництва фірми "R.Bosch", а також досвідом російських фірм та установ.

Фірма "R.Bosch" випускає для CR вантажівок рядний двосекційний ПНВТ. У його конструкції вгадується використання звичних для сучасних насосів вставних секцій з роликовим штовхачем. Як і раніше ПНВТ зкомпонований з підкачувальним насосом, а зміна продуктивності насоса забезпечується золотниковою частиною при розвороті плунжерів. Загалом, ПНВТ більш технологічний, надійний, але має великі габарити, вагу, складність, а при помірних об'ємах виробництва, мабуть, і вартість.

Привід плунжерів. Зважаючи на значний тиск подачі, на перше місце виступає проблема забезпечення ресурсу та надійності. У схемі на рис. 6.7 плунжер під час нагнітання палива навантажений значним моментом. У

результаті перекоосу особливо сильно зношується його верхня частина. Найнесприятливіші умови виникають у зоні тертя плунжера та втулки.

Штовхачі перших ПНВТ R.Bosch не можна вважати кращим рішенням. Не випадково при доробці ПНВТ і подальшому їх форсуванні за тиском подачі до 160 МПа, фірма " R.Bosch " застосувала штовхач у формі стакана, усередині якого компактно розміщуються пружина та хвостовик плунжера. Плунжер плаваючого типу повністю розвантажений від бокових сил.

Клапани ПНВТ. У насосі R.Bosch застосовані кулькові клапани як малоінерційні та недорогі. Проте практика показує, що при цьому є труднощі у забезпеченні їх герметичності. Надійність кулькових клапанів може бути забезпечена тільки досвідом виробника і дотриманням умов експлуатації. Проста заміна зношеного клапана на кульку від підшипника не дасть позитивного результату.

Плоскі клапани також малоінерційні, але вимогливі до фільтрації палива і точності виготовлення. Такі клапани використовувалися у перших ПНВТ R.Bosch, але із зміною принципу регулювання були замінені кульковими.

6.3.3. Вимоги до ПНВТ для Common Rail

Загальні вимоги:

- ресурс ПНВТ відповідає ресурсу дизеля до капітального ремонту;
- ПНВТ дешевший і простіший за традиційний дизельний ПНВТ;
- змащення дизельним паливом;
- наявність вхідного клапана, що запобігає спорожненню порожнин ПНВТ;
- клапани – грибкові, кулькові або плоскі;
- кріплення ПНВТ фланцеве, привід від ланцюга або зубчастого паса.

Конструкція, привід:

- оптимальна частота обертання $(0,5-1)n_{\text{колінвала}}$;
- при будь-якій схемі ПНВТ – привід плунжерів за допомогою ексцентрика;
- дезаксіал рівний половині ексцентриситету (його значення невелике);

можливе використання ПНВТ за традиційною схемою з роликовими штовхачами або радіально-плунжерних насосів.

Регулювання продуктивності:

- спосіб регулювання повинен забезпечити ККД нагнітання не гірше 90%, тобто принаймні на сталих режимах практично виключати злив палива з порожнини нагнітання (акумулятора);
- переважний спосіб регулювання - дроселювання на всмоктуванні в плунжерну порожнину або безнапірним зливом при нагнітанні;
- швидкодія регулювання ПНВТ на перехідних режимах – 5-10 мс; більш точно воно повинно відповідати часу стабілізації тиску в акумуляторі у всьому полі режимів роботи 0,2–0,5 с.
- при дроселюванні на всмоктуванні для забезпечення часу реакції ПНВТ на перехідних режимах орган керування знаходиться поблизу плунжерної пари.

Забезпечення заданих тиску і продуктивності подачі (цифри, що наведені нижче, відносяться до CR швидкохідного 2–2,2-х літрового дизеля класу Mercedes-OM611):

- діапазон частот ПНВТ – 75(100) – 2100 хв⁻¹, подач – 1,5–15 мл/с.
- максимальний тиск подачі 120–200 МПа – визначається вимогами робочого процесу; забезпечується відсутністю нещільностей, деформацій, розкриття стиків, збереженням умов мащення у приводі;
- оптимальний тиск впорскування на режимах роботи дизеля;
- забезпечення заданого тиску на пусковому режимі;
- середня потужність на привід ПНВТ при P=150 МПа не більш 4 кВт;
- забезпечення продуктивності з запасом на пускові подачі, динамічного резерву, зношування і витрату палива на керування форсункою.

6.4. Акумулятор, запобіжний клапан, датчик тиску, аварійний обмежувач подачі

Акумулятор у складі CR Bosch зображений на рис. 6.8. Для отримання коротких нагнітальних трубопроводів він закріплюється на головці блоку

циліндрів, виконується у вигляді товстостінного трубопроводу з внутрішнім діаметром 10 мм, зовнішнім 18 мм, завдовжки від 280 до 600 мм, тобто об'ємом від 22 до 47 мл (для дизелів з циліндровою потужністю 30–50 кВт – до 60 мл).

Вибір об'єму акумулятора $V_{ак}$ важливий. З одного боку, він повинен згладжувати коливання тиску від ПНВТ і форсунок. З другого боку, необхідний об'єм акумулятора підбирається з умови забезпечення швидкості протікання перехідних режимів. Так, для автомобільного дизеля оптимальне $P_{ак}$ змінюється на різних режимах вельми значно. На перехідних режимах виникає завдання мінімізувати $V_{ак}$ з метою швидкого наповнення акумулятора паливом. Цей розрахунок погоджений з динамічним резервом продуктивності ПНВТ. Найважливіші перехідні режими – різке збільшення навантаження на середніх частотах обертання і пуск дизеля.

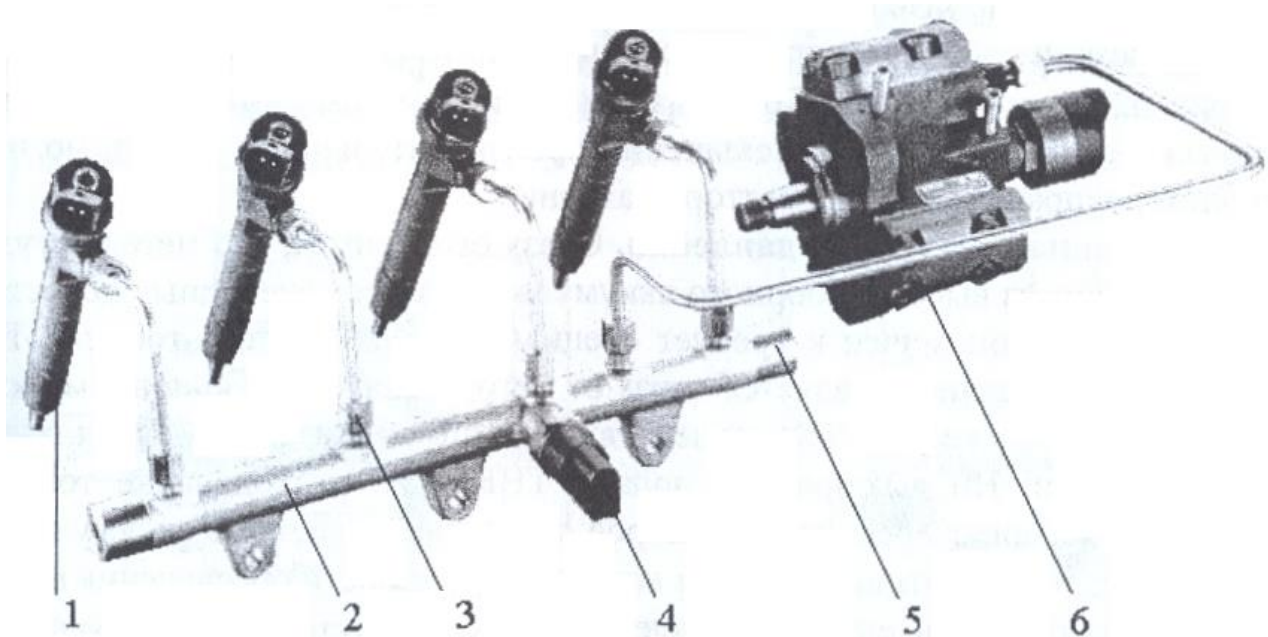


Рис. 6.8. Акумулятор CR фірми R. Bosch:

1 – форсунка; 2- корпус акумулятора; 3 – аварійний обмежувач подачі; 4 – датчик тиску;
5 – запобіжний клапан; 6 - ПНВТ

Клапанний регулятор тиску. Метод регулювання тиску шляхом зливу з висконапірного акумулятора має очевидні недоліки: дуже неекономічний і вимагає спеціального охолоджувача палива. Тому кращим рішенням є відмова від нього. Проте редукційному клапану відводиться також роль швидкодійного стабілізатора тиску при знятті навантаження. Ні виключення подачі ПНВТ, ні

витрачання палива форсунками не можуть забезпечити швидке зниження тиску в акумуляторі. Інакше можливі труднощі забезпечення малих подач при високому тиску (уповільнення скидання навантаження або пропуски подач).

У ПНВТ Bosch і Siemens електрокерований клапанний регулятор тиску забезпечує точну і безумовну підтримку заданого для даного режиму тиску в акумуляторі. Клапан може встановлюватися і в ПНВТ, і на акумуляторі. Пружина 4 через шток 2 закриває кульковий клапан 1 (рис. 6.9). Електромагнітом 3 створюється додаткове замикаюче зусилля. Зміною тривалості періодичного знеструмлення клапана регулюється середня за часом витрата палива на злив і, отже, $P_{ак}$. Цей клапан в ППА Bosch і Siemens є другим каналом регулювання $P_{ак}$ (окрім блокування впускного клапана ПНВТ).

Запобіжний (редукційний) клапан (рис. 6.10) призначений для зливання палива з акумулятора при перевищенні тиску вище за допустимий. Він може спрацювати при несправному регуляторі тиску. Тиск спрацювання регулюється поворотом гвинта 4. Ставляться підвищені вимоги до точності виготовлення замкового конуса клапана 2 і забезпечення його герметичності. Конус клапана тупіший, ніж у корпусі, зусилля затягування пружини 3 – 400–450 Н. Обі деталі загартовані.

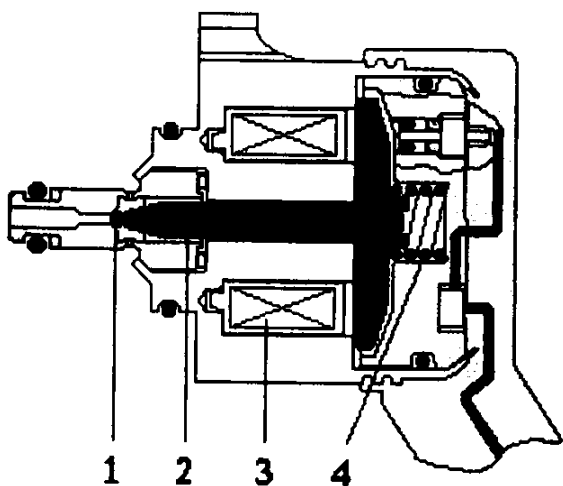


Рис. 6.9. Електрокерований редукційний клапан CR Bosch

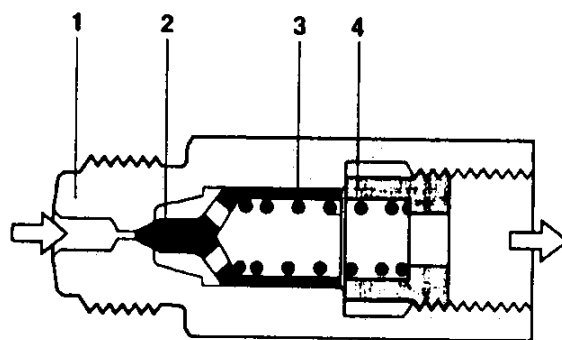


Рис. 6.10. Запобіжний клапан CR Bosch

Датчик тиску палива в акумуляторі (рис. 6.11). Його особливість – стабільна нульова точка. Мембрана 2 приварена до корпусу та забезпечена

напівпровідниковим первинним перетворювачем. Вона може прогинатися на величину до 1 мм при тиску 150МПа. У корпусі змонтована плата 1 з електронною схемою обробки сигналу. Точність вимірювання не гірше 2 %.

Аварійний обмежувач подачі запобігає спорожненню акумулятора через форсунку із завислою голкою або клапаном керування, а також пошкодження відповідного циліндра дизеля. У ньому використовується принцип виникнення різниці тиску по обидва боки від клапана 1 (рис. 6.12) при проходженні палива через його жиклери 2. Перетин жиклерів, затягування пружини 3 і діаметр клапана повинні відповідати максимальній тривалості та витраті палива.

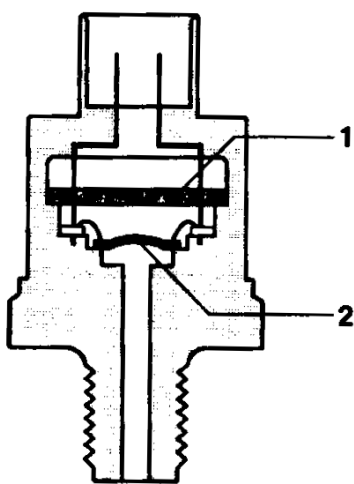


Рис. 6.11. Датчик тиску в акумуляторі CR Bosch

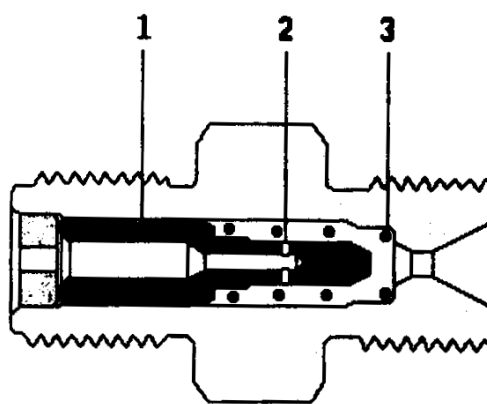


Рис. 6.12. Аварійний обмежувач подачі через форсунку CR Bosch

6.5. Електрогідравлічні форсунки Common Rail

Під електрогідравлічною форсункою для CR розуміють нормальну закриту форсунку 1 (рис. 6.13) з швидкодіючим клапаном 2, керуючим тиском в надголковій порожнині (або камері керування) і постійно з'єднаною з акумулятором 5 підголковою порожниною. Найпоширеніша схема з так званим дросельним керуванням використовує простий однозатворний клапан (золотник) для зливу палива з камери керування і дросель 4 для його подачі з акумулятора. Клапан малогабаритний, а значить, швидкодіючий, оскільки через нього вже не проходить основний потік палива, що впорскується.

дроселя у каналі керування клапана 5 (рис. 6.15) – 0,2375 мм. Мінімальна кількість впорскуваного палива $1,4 \pm 0,8$ мм³.

При впорскуванні мультиплікатор 6 (рис. 6.15) своїм верхнім торцем намагається закрити осьовий отвір, що веде до кулькового клапана 5. Повністю це зробити не вдається, оскільки при цьому через жиклер 7 відновлюється високий тиск, і мультиплікатор відтискається від отвору. Проте, від процесу встановлення рівноваги мультиплікатора є реальна користь: обмежується витрата палива на керування (з штуцера 9 через жиклер 7, клапан 5 на злив).

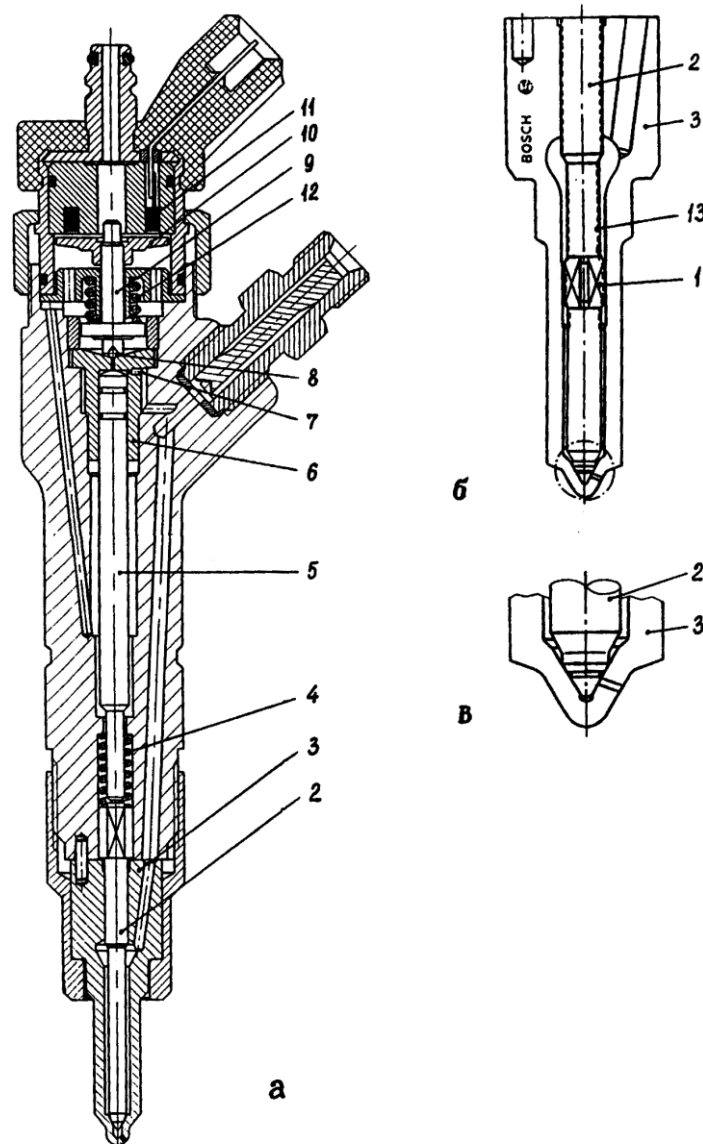


Рис. 6.14. Електрогідравлічна форсунка R. Bosch (а), її розпилювач (б) і запірний конус (в):

- 1 – хрестоподібна напрямна; 2 – голка; 3 – розпилювач; 4 – пружина запирання голки;
 5 – мультиплікатор запирання; 6 – втулка мультиплікатора; 7 – жиклер камери гідрокерування; 8 – кульковий керуючий клапан; 9 – шток; 10 – якір; 11 – електромагніт;
 12 – пружина клапана; 13 – вуглецеве покриття

Новий варіант форсунки має додаткову пружину 4 (рис. 6.15) для зниження зминання сидла при ударній посадці клапана 5 (тоді маса якоря 3 мало впливає на силу удару) і для запобігання повторному відкриттю клапана від хвиль тиску при його посадці.

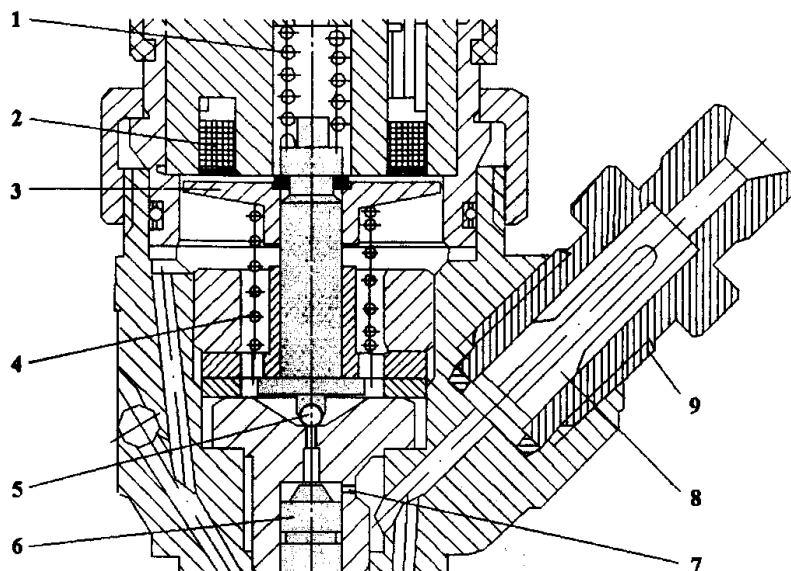


Рис. 6.15. Керуючий вузол електрогідравлічної форсунки R. Bosch:
1 – пружина запирання клапана; 2 – електромагніт; 3 – якор; 4 – демпферна пружина; 5 – клапан; 6 – мультиплікатор запирання; 7 – жиклер камери гідрокерування; 8 – щілинний фільтр; 9 – вхідний штуцер

Форсунки встановлюють вертикально та співвісно з циліндром і камерою згорання (рис. 6.16, а). Така компоновка є найкращою для сучасних автомобільних швидкохідних дизелів з високими екологічними показниками, оскільки дозволяє забезпечити максимальну рівномірність паливних струменів. Якщо при використанні трьох або чотирьох клапанів на циліндр і одного розподільного вала ще вдається розташувати форсунку традиційної ППА, як, наприклад, в Opel Ecotec, то довгу форсунку CR можна розташувати тільки похило. Те ж доводиться робити і при використанні двох клапанів (рис. 6.16, б), наприклад, в дизелях Fiat Punto HGT, Ford Focus 1,8, Alfa Romeo JTD і ін.

Електромагнітні форсунки поряд з основним впорскуванням палива забезпечують ще й так зване передвпорскування в об'ємі менше 1 мг. Передвпорскування дозволяє роботу двигуна зробити м'якшою за рахунок поступового наростання тиску продуктів згорання. Так можна позбутися

основного недоліку дизельних двигунів з безпосереднім впорскуванням – жорсткої шумної роботи з значними вібраціями на малих обертах.

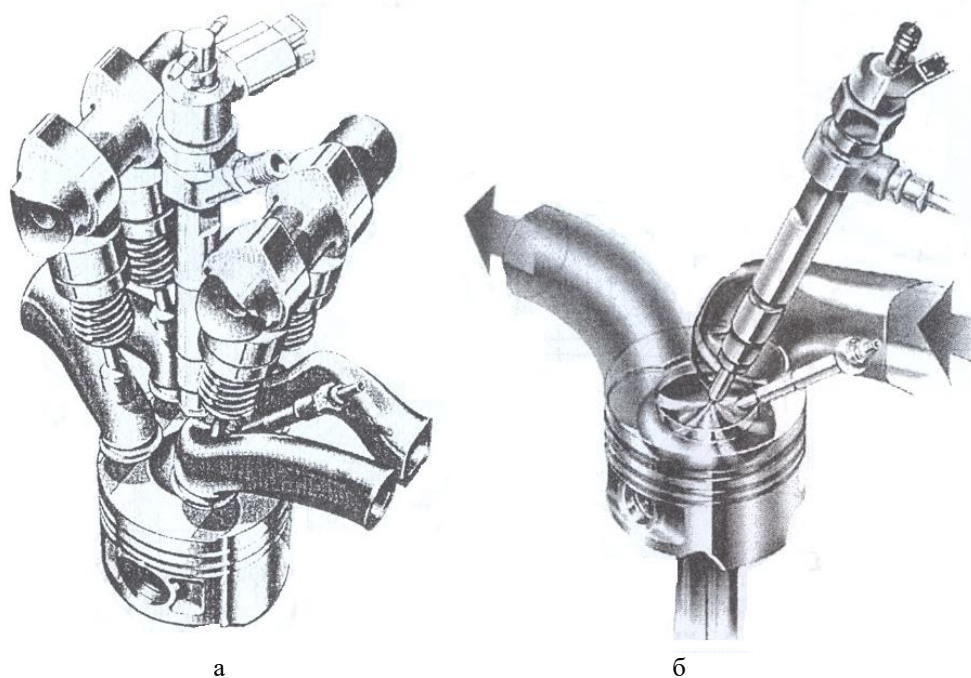


Рис. 6.17. Розміщення форсунок CR:
співвісне з циліндром на дизелі Mercedes OM611 (а)
і під нахилом на дизелі Alfa Romeo JTD (б)

Крім цього, основна порція палива може подаватися в камеру згорання двома порціями. Це дозволяє знизити температуру й добитися плавного згорання і поступового, а не різкого підвищення тиску в циліндрах. Також зменшується вміст оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах і вміст сажі.

П'єзофорсунки [2]. Для забезпечення багатопорційності подачі палива потрібно, щоб форсунка відгукувалася на команди комп'ютера не більш, ніж за 0,1 мсек. Такою швидкістю реакції сьогодні володіють тільки п'єзофорсунки, які вперше встановили на дизельних двигунах Audi в кінці 2004 року.

П'єзоефект – явище не нове. Суть його полягає у тому, що деякі кристали під тиском генерують електричний струм. Зрозуміло, йдеться про короткий імпульс, іскру. Відповідно, існує і зворотний п'єзоефект, коли кристал, до якого підвели електричний струм, починав стискатися або навпаки розширятися. У п'єзоелектричних форсунках п'єзоефект і зворотний п'єзоефект комбінуються.

Особливий виконавчий механізм, довжиною 30 мм, містить 300 п'єзокерамічних шарів завтовшки 80 мкм кожен.

Як тільки на перший шар поступає електричний сигнал від блоку керування двигуном, він негайно деформується, впливаючи при цьому на наступний шар. Той під впливом сили стиснення виробляє електричний струм, яким примушує деформуватися наступний шар і так далі по ланцюжку. В результаті виконавчий механізм завдовжки 30 мм виконує рух підйому всього за 0,1 мсек. У результаті п'єзофорсунка спрацьовує у два рази швидше, ніж класична електромагнітна.

На рис. 6.18 показано п'єзофорсунку Siemens, яка здатна витримувати тиск до 1800 бар. Форсунка складається з корпусу, який значно менший за діаметром, ніж у електромагнітних конструкцій, п'єзоелектричного виконавчого механізму, пластини клапана, розпилювача, гідравлічного коректуючого елементу. Гідравлічний коректуючий елемент повинен передавати рух виконавчого механізму на сервоклапан та компенсувати зміну його довжини, зумовлену зміною температури та зношуванням. Цей елемент складається з групи поршень-циліндр і закріплений безпосередньо в корпусі форсунки.

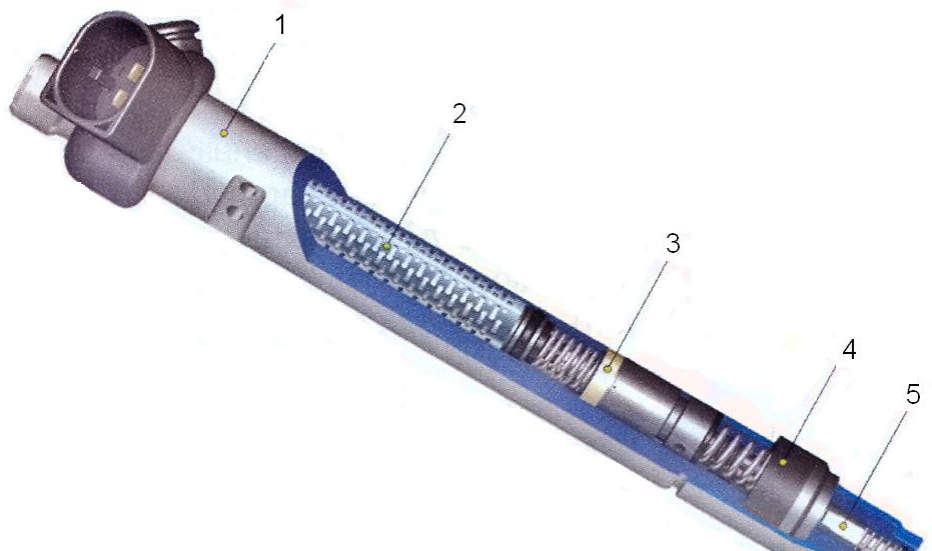


Рис. 6.18. П'єзофорсунка Siemens:

1 – корпус; 2 – п'єзоелектричний виконавчий механізм; 3 – гідравлічний коректуючий механізм; 4 – пластина клапана; 5 – вузол розпилювача

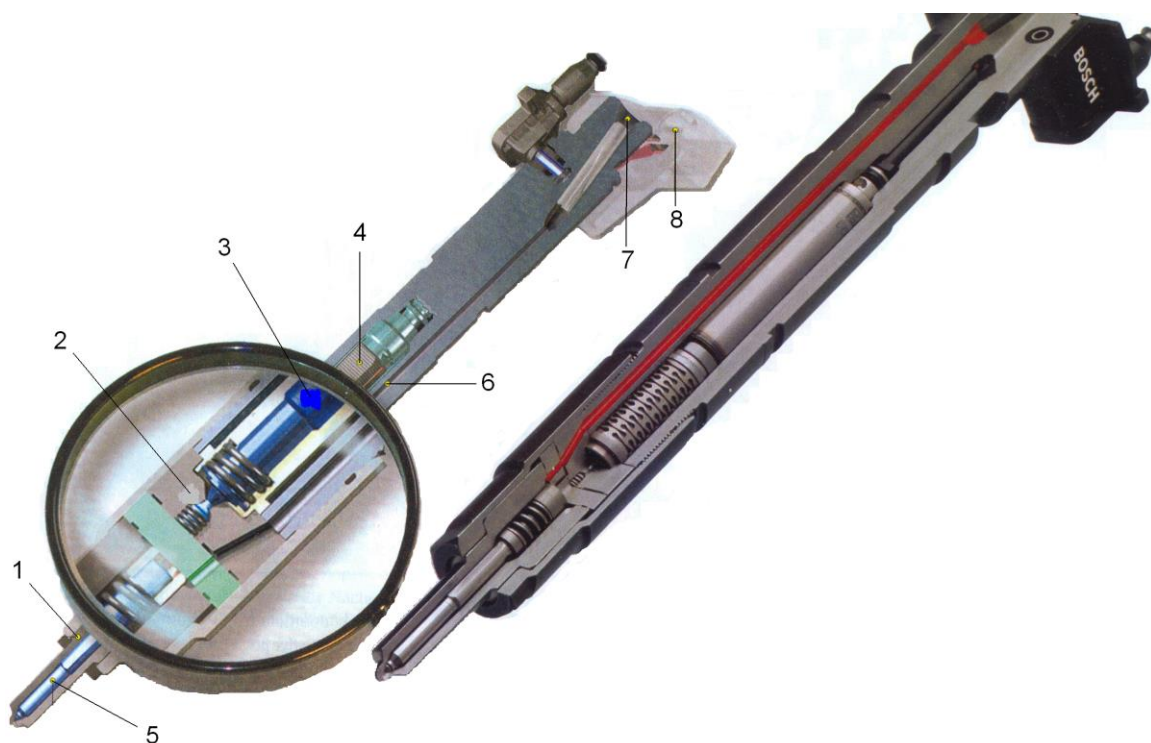


Рис. 6.19. П'єзофорсунка Bosch:

1 – модуль розпилювача; 2 – клапан перемикання; 3 – гідравлічний підсилювач; 4 - п'єзоелектричний виконавчий механізм; 5 – голка розпилювача; 6 – паливопровід; 7 – штуцер високого тиску; 8 – електророз'єм

Дещо по-іншому збудована п'єзофорсунка Bosch (рис. 6.19), що дебютувала на нових дизелях Audi. Розпилювач цієї форсунки розрахований на тиск в 1600 бар і забезпечений сімома отворами. Сам п'єзоелектричний виконавчий механізм встановлений ближче до голки розпилювача. Між ними знаходиться гідравлічний перетворювач і клапан перемикання.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

А

Аварійний обмежувач подачі палива 103

Акумулятор палива 26 100

Акумуляторна паливна система 92

В

Витратомір повітря 22 53

Г

Головна дозувальна система 21

Д

Датчик концентрації кисню 15 47

- тиску 102

Дозатор-розподільник 27

З

Запобіжний клапан 102

Е

Електромагнітна форсунка 54 103

К

Клапан додаткового повітря 33

Кут випередження подачі палива 60

Л

Лямбда-регулювання 47

Н

Насос високого тиску розподільчий 63 72

- радіально-плунжерний 96

Насос-форсунка 77 86

Нейтралізатор каталітичний 13

Норми токсичності 12

П

Паливоподаюча апаратура з електродинамічним двигуном 84

- гідроударна 91

- акумуляторна 91

Паливний фільтр 27

- електронасос 25

П'єзофорсунка 61 107
Показники токсичності 8

Р

Регулятор керуючого тиску 29
Редукційний клапан 102

С

Система безпосереднього впорскування 61

- EDS 17
- Common Rail 92
- K-Jetronic 19
- KE-Jetronic 41
- L-Jetronic 49
- Mono-Jetronic 55
- Opel-Multec 58
- пуску 24 44
- холостого ходу 44

Т

Термореле 32
Токсичні речовини 6

- сполуки 5

Ф

Форсунка 34 38 39

- пускова 32

ЛІТЕРАТУРА

1. Голубовский Ю. По заветам дедушки Дизеля // Сервис-Авто. – 2006. – №3. – С. 8–14.
2. Голубовский Ю. Пьезоинжектор // Сервис-Авто. – 2006. – №3. – С. 15.
3. Голубовский Ю. Пьезофорсунки в новой системе непосредственного впрыска бензина // Сервис-Авто. – 2006. – №6-7. – С. 51.
4. Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. – М.: Легион-Автодата, 2003. – 176 с.
5. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей / Ефимов С.И., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др.; Под общ. Ред. Орлина С.А., Круглова М.Г. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.
6. Декет В. Датчик концентрации кислорода // Сервис-Авто. – 2004. – №10. – С. 16–17.
7. Жегалин О., Лупачев П. Снижение токсичности автомобильных двигателей. – М.: Транспорт, 1985. – 148 с.
8. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. – К.: Либідь, 2000. – 400 с.
9. Ландарь А. Впрыск непосредственный, но разный // Автоцентр. – 2007. - №3. – С. 38-40.
10. На один фильтр больше // Автоцентр. – 2005. – №17. – С. 40–41.
11. Основы конструкции автомобиля. Иванов А.М., Солнцев А.Н., Гаевский В.В. и др. – М.: ООО “Книжное издательство “За рулем“, 2005. – 336 с.
12. Росс Твег. Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт. – М.: Издательство “За рулем“, 1997. – 144 с.
13. Юзеф Якубовский. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. – М.: Транспорт, 1979. – 384 с.