

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Ю.М. Бороденко
А.В. Гнатов
Щ.В. Аргун

МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛЯ
Частина 1. Силовий привід

Підручник

Харків
ХНАДУ
2023

УДК 629.3.03: 621.38 (075)

Б83

*Рекомендовано Вченою радою Харківського національного
автомобільно-дорожнього університету,
дозвіл № 55/23/5.16 від 30 червня 2023 р.*

Рецензенти: *Мигаль В.Д.*, д-р техн. наук, професор,
Державний біотехнологічний університет;
Далека В.Х., д-р техн. наук, професор,
Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова;
Волонцевич Д.О., д-р техн. наук, професор,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний
інститут»;
Воронков О.І., д-р техн. наук, професор,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Бороденко Ю.М.

Б83 Мехатронні системи автомобіля. Частина 1. Силовий привід: підручник /
Ю.М. Бороденко, А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун. – Харків : ХНАДУ, 2023. –
300 с.

Наведено загальні принципи будови мехатронних систем. Дана характеристика об'єктів та систем керування автомобіля. Розглянуто способи реалізації керуючих впливів на агрегати силового приводу автомобіля за допомогою електричних виконавчих пристроїв промислових зразків. Наведено приклади структури та алгоритми функціонування мехатронних систем ДВЗ та трансмісії провідних автовиробників. Виконано структурний аналіз альтернативних систем силового приводу автомобіля.

Призначений для студентів електромеханічних спеціальностей автотранспортних навчальних закладів, корисний для інженерно-технічних працівників у сфері виробництва компонентів автомобільної мехатроніки та обслуговування автотранспортних засобів.

Іл. 194. Табл. 2. Бібліогр. 82 найм.

УДК 629.3.03: 621.38 (075)

© Бороденко Ю.М.,
Гнатов А.В., Аргун Щ.В., 2023
© ХНАДУ, 2023

ПЕРЕДМОВА

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

Підручник представлений двома частинами: «Силовий привід» і «Ходова частина». Перша частина складається з п'яти тем. Базовий матеріал першої теми стосується загальних принципів будови електронних систем керування безвідносно до призначення об'єкту керування. Поряд з цим, розглядаються структури систем керування у складі мехатронних систем автомобіля. Друга, третя і четверта теми присвячені мехатронним системам ДВЗ і агрегатам трансмісії, які становлять основу силового приводу автомобіля. П'ята тема містить теоретичний матеріал для проведення факультативних занять та самостійної роботи студентів.

Підручник складено за матеріалами огляду сучасної навчальної літератури, опублікованих досягнень наукових досліджень та на основі технічної інформації, інструкцій і каталогів, викладених на сайтах виробників з автомобільної галузі.

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

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

Для кращого засвоєння матеріалу, в підручнику наводяться структурні схеми та ілюстрації натуральних об'єктів. Текст підручника супроводжується посиланнями на первинні та додаткові джерела інформації. Після кожної теми надано перелік контрольних запитань складених у форматі підсумкового контролю. Наприкінці підручника наведено перелік прийнятих скорочень та іноземних аббревіатур.

ВСТУП

На сьогодні поняття мехатроніка предметно використовується в багатьох галузях техніки [1]: робототехніка; верстатобудування й устаткування для автоматизації технологічних процесів; авіаційна, космічна та військова техніка; автомобілебудування; офісна техніка, периферійне оточення комп'ютерних систем; медичне обладнання; побутова техніка; контрольно-вимірювальні пристрої і машини; фото- і відеотехніка; інтелектуальні тренажери та шоу-індустрія. Поняття мехатроніка існує вже давно, однак сучасні визначення цього терміну різняться, залежно від галузі застосування. Наведемо кілька прикладів.

Мехатроніка – це нова область науки і техніки, присвячена створенню й експлуатації машин та систем з комп'ютерним керуванням рухом, котра базується на знаннях у області механіки, електроніки та мікропроцесорної техніки, інформатики й комп'ютерного керування рухом машин та агрегатів [1].

Мехатроніка – це наука і технологія застосування синергетичного сполучення точної механіки, електроніки і системного підходу [2]. При цьому, синергетичний ефект полягає в тому, що ефективність синтезованої мехатронної системи перевищує ефективність від удосконалення її окремих складових.

Мехатроніка – це область науки і техніки, присвячена експлуатації, аналізу та синтезу мехатронних об'єктів [3]. При цьому, дані пояснення синергетичного ефекту від застосування мехатронних систем замість синтезу традиційних складових.

Звернемось до змісту навчальних книг, які на даний час запропоновані в першу чергу студентам профільних вищів, де викладаються дисципліни, що охоплюють знання, пов'язані з мехатронікою. При цьому, залежно від обраної спеціальності майбутнього фахівця назва обраної навчальної дисципліни повинна характеризувати два аспекти (об'єктний і предметний), які визначають галузь застосування знань.

Об'єктний аспект дисципліни (робот, виробниче обладнання, автотранспортний засіб). Предметний аспект дисципліни (будова чи устрій та функціонування, структура і алгоритми, проектування та розробка, діагностика та технічне обслуговування). Так, наприклад, поняття «*Автомобільна мехатроніка*» означає синергетичне застосування фізики, а саме – механіки, гідротехніки (гідравліки або пневма-

тики), електрики, електроніки, загальної теорії керування, інформатики і технології датчиків та виконавчих механізмів для розробок покращених автомобільних продуктів та виробництва [2]. При цьому, охоплюється широкий спектр задач поліпшення характеристик АТЗ за показниками: безпеки руху, екології, паливної економічності, комфорту керування, оптимізації реакції автомобіля, зниження ваги трансформуючих елементів і органів керування, технологічності виробництва окремих вузлів, агрегатів і систем.

А що ж розуміють під мехатронною системою? Поняття *мехатронна система* (гіперсистема [2], підсистема [3]) розуміється по різному, залежно від контексту (об'єктного і предметного аспекту дисципліни). При цьому, залежно від галузі застосування різняться і визначення цього поняття.

Мехатронні системи – це технічні системи, що забезпечують виробничі процеси, засновані на комплексному використанні електричних, механічних та інформаційних технологій [1].

Мехатронні системи – це сукупність трьох обов'язкових частин – механічної (електромеханічної), електронної і комп'ютерної, зв'язаних енергетичними та інформаційними потоками [4]. При цьому, в галузях виробництва промислового технологічного обладнання (верстатобудування) та мобільних машин (автомобілебудування) поняття енергетичні і інформаційні потоки в структурі мехатронної системи формуються з певною відмінністю.

В розглянутих навчальних виданнях визначено функціональний склад та архітектурну підпорядкованість мехатронних об'єктів: вузол, модуль, агрегат [1, 3, 4], комплекс [4], прилад, апарат [3, 5], пристрій [4]. Різні назви компонентів мехатронних систем не завжди сприймаються однозначно. Наприклад, існують конкуруючі поняття – виконавчі (виконуючі) пристрої [4] і виконавчі механізми.

Як визначити фізичні границі мехатронної системи і складових мехатронних об'єктів? Деякі автори додержуються установки, що мехатронна система це електронна система керування до складу якої входять електромеханічні перетворювачі (виконавчі пристрої, мехатронні модулі). Дехто вважає, що мехатронна система це сукупність електронної системи керування (з засобами моніторингу і актуаторами) та механічного об'єкту керування. Автори даного підручника додержуються другого варіанту, оскільки в мехатронній системі, сис-

тема керування не може функціонувати без об'єкту керування, і навпаки. При цьому, датчики і виконавчі пристрої одночасно є складовими механічної і електронної частин мехатронної системи через які замикаються інформаційні потоки.

Оригінальність підручника в першу чергу визначається змістом та структурою навчального матеріалу, а також акцентами, які визначаються напрямом підготовки фахівця та рівнем підготовки читача. Так, навчальний посібник [1] орієнтований на студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за загально-технічними спеціальностями. Посібник з мехатроніки містить розділи присвячені загальним питанням мехатроніки та мехатронних систем роботів: будові пристроїв, методам керування, способам структурної комунікації, проектуванню та експлуатації.

Фундаментальна праця [2] розрахована на широке коло читачів, включаючи аспірантів, науковців, проектувальників і розробників АТЗ. Монографія представлена двома томами з розділами по мехатронним системам автомобіля, присвяченими: структурному аналізу мобільних гіперсистем; складу і характеристикам силових установок; аналізу систем розсіювання і перетворення енергії; реалізації систем активного гальмування, рульового керування і керованих підвісок. При цьому, основні системи автомобіля умовно поділяють на імпульсивні (Propulsion Systems – ті що утворюють імпульс сили руху на ведучих колесах автомобіля) та диспульсивні (Dispulsion Systems – ті що розсіюють енергію автомобіля, який рухається). До першої групи відносяться системи, що складають привод автомобіля (двигуни, трансмісія), до другої, – системи ходової частини автомобіля (гальма, підвіска, рульове керування).

Підручник [3] підготовлений для здобувачів першого, другого та третього рівня вищої освіти, викладачів, наукових співробітників та фахівців в області конструювання тракторів і автомобілів, експлуатації машинно-тракторних агрегатів. Відмінною рисою змісту підручника є формулювання та способи реалізації специфічних завдань для сільськогосподарських машин, де системи автоматичного керування і просторової орієнтації набувають все більшої значущості.

Навчальний посібник [4] призначений для підготовки докторів філософії та магістрів технічних навчальних закладів автотранспортного спрямування, а також спеціалістів з експлуатації автомобілів. В

посібнику для автомобілістів механіків наведені основні поняття і визначення мехатроніки та принципи будови інформаційних датчиків і виконавчих пристроїв, дані базові поняття про мікропроцесорну техніку. Розглянуто структуру і приклади промислових зразків основних систем автомобіля з електронним керуванням характеристик: підвіски, трансмісії, гальмування, рульового керування. Додатково наведена інформація про інформаційні системи (діагностичні, навігаційні, безпеки руху), які базуються на засобах телеметрії.

Розглянуті книги загалом орієнтовані на майбутніх фахівців з механіки. Даний підручник розрахований на підготовку спеціалістів електромеханіків, які мають певний багаж базових знань з електричних дисциплін і будови автомобіля.

Треба зауважити, що визначення понять «Силовий привід» і «Система силового приводу» також викликає певну полеміку між механіками і електромеханіками автомобільно-будівельної галузі. Оскільки матеріал даної книги торкається приводів різного принципу дії і будови, автори дотримуються загальних визначень, наведених в [5].

Привід – пристрій для приведення в дію машин і механізмів, або робочого органу машини. Також приводом називають силове обладнання, трансмісію і систему керування, які забезпечують дію механізмів машини та робочих органів. В нашому випадку, як робочий орган розглядається ведуче колесо АТЗ. Згідно цього визначення *привод складається* з джерела енергії (двигуна), перетворювача енергії й системи механічних передач і муфт, що забезпечують передачу енергії (руху) до вихідних, виконавчих ланок механізмів і машини, а також механізмів і апаратури керування [5].

Автори підручника намагалися дотримуватись певних настанов:

- мінімум уваги визначенню загальних понять мехатроніки, максимум уваги поняттям автомобільних мехатронних систем;
- мінімум уваги устрою механічної складової (об'єкту керування), максимум уваги до методів і способів побудови систем режимного моніторингу та до способів реалізації керуючих впливів;
- мінімум уваги сенсорам і актуаторам універсального застосування, максимум уваги оригінальним датчикам і виконавчим пристроям автомобільних систем керування;
- мінімум уваги робочим характеристикам і режимам роботи об'єкту керування, максимум уваги процесам оптимізації і алгоритмам функціонування мехатронної системи.

1. Загальна характеристика мікропроцесорних систем керування

1.1. Особливості будови мехатронних систем

Мехатронна система (МС), в загальному випадку, включає в себе механічний об'єкт керування і електронну систему керування, які пов'язані між собою енергетичними та інформаційними потоками (рис. 1.1).

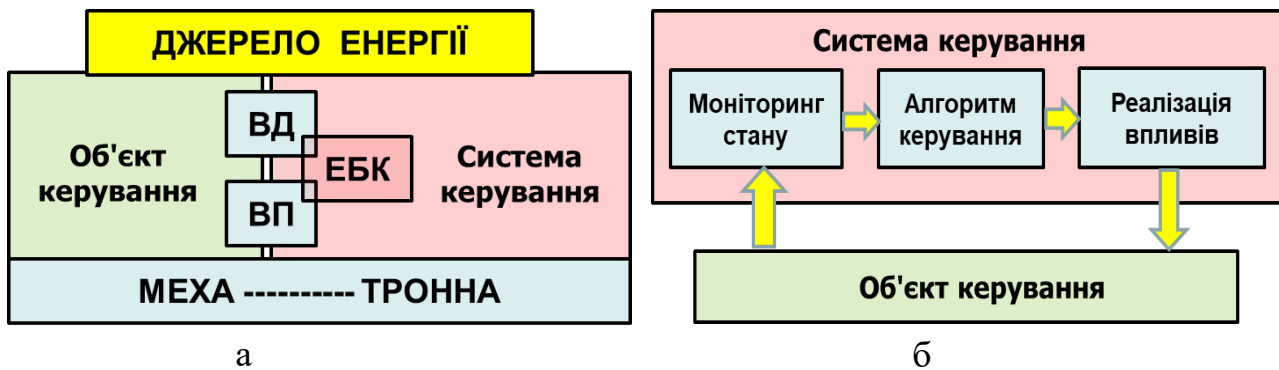


Рис. 1.1. Узагальнена структура мехатронної системи:

а – апаратне уявлення; б – процедурне надання

Інформаційний зв'язок для цих двох складових на апаратному рівні здійснюється через вимірювальні датчики (ВД) і виконавчі пристрої (ВП), які функціонально належать обом складовим. Активізуюча частина ВД і робочий орган ВП належать механічному об'єкту керування. Електрична частина (коло підключення) ВД і ВП розглядаються, як елементи електронної системи керування.

Енергетичні потоки, в загальному випадку, утворюють контур перетворювачів виду енергії, замкнутий через первинне джерело живлення. Стосовно до систем автомобіля, розглядають два первинних джерела енергії – живлення тягового двигуна (паливо) і живлення електричних споживачів (АКБ). Ці джерела пов'язані через електромеханічний генератор. Крім того, в транспортних засобах передбачають використання рекуперативних джерел енергії гальмування.

Інформаційний потік в структурі системи керування утворюється засобами моніторингу стану об'єкту керування на підставі інформації отриманої з датчиків, встановлених на ньому. Визначальним атрибутом системи керування у складі МС є мікропроцесорна основа структури електронного блоку керування (ЕБК). Для прийняття рішення

(формування сигналів керування) в програмному середовищі мікропроцесора, використовуються певні алгоритми виконання операцій перетворення вхідних сигналів, що дозволяють отримати оптимальні значення сигналів керування. Реалізація керуючих впливів на підставі сигналів керування, здійснюється за допомогою електромеханічних перетворювачів (виконавчих пристроїв) [1, 6].

В системі «автомобіль-водій-дорога», автомобіль розглядається, як об'єкт керування, і в сукупності з електронною системою керування являє МС, яка функціонує в напіваавтоматичному режимі під контролем водія (рис. 1.2).

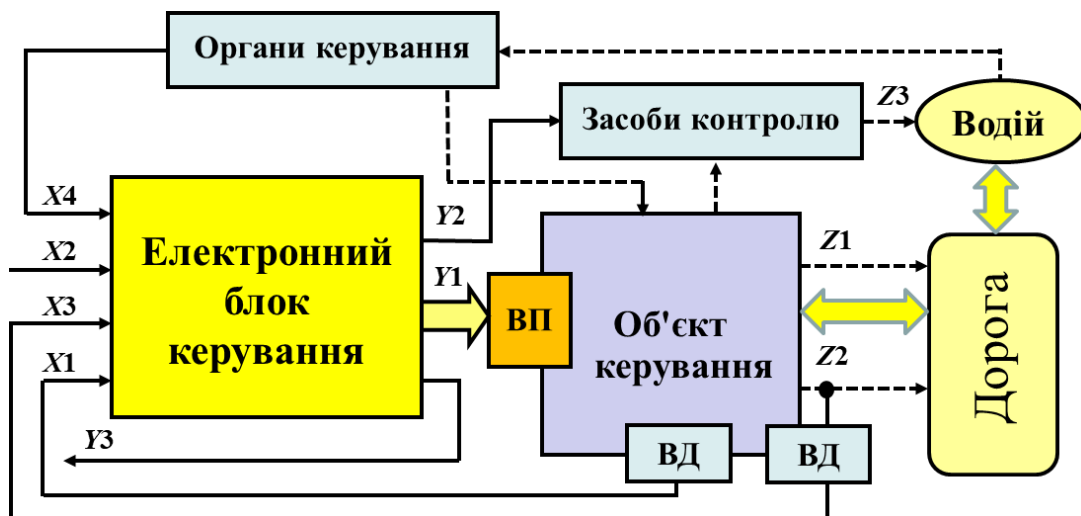


Рис. 1.2. Узагальнена функціональна схема системи «Автомобіль-водій-дорога»

На рис. 1.2 позначено: X – вхідні сигнали ЕБК; Y – вихідні сигнали ЕБК; Z – вихідні характеристики (параметри) автомобіля (агрегатів). Вхідні сигнали окремої системи керування надходять з датчиків: структурних режимних параметрів об'єкта керування X_1 ; інших мехатронних або інформаційно-вимірювальних систем автомобіля X_2 ; вихідних параметрів об'єкта керування X_3 ; органів керування X_4 .

Вихідні сигнали окремої системи керування подаються на виконавчі пристрої Y_1 і засоби контролю Y_2 , а також використовуються для інших систем керування Y_3 . Пунктирними лініями показані можливі неелектричні зв'язки. Вихідні характеристики МС можуть не контролюватися Z_1 (розімкнуті системи) або контролюватися Z_2 (замкнуті системи) датчиками вихідних параметрів. При цьому, реалізуються, відповідно, жорсткі (без зворотних зв'язків) або гнучкі (із зворотними зв'язками) алгоритми керування.

Якщо на стаціонарних режимах виключити з розгляду впливи водія Х4, то МС функціонує в автоматичному (без участі людини) режимі [3].

1.2. Призначення і класифікація систем керування

Автомобільні системи керування призначені для реалізації алгоритмів керування за допомогою агрегатів і вузлів автомобіля [7...9]. Процес керування виконується на підставі аналізу інформаційних параметрів, які змінюються під час експлуатації АТЗ (моніторинг режимного стану), і оптимізується за одним або декількома критеріям (алгоритм керування) з використанням програмно-апаратних засобів (реалізація керуючих впливів).

Системи керування АТЗ можна класифікувати за чотирма загальними ознаками: призначенням або об'єкту керування; гнучкості реалізації алгоритму; архітектурною композицією; ступенем автоматизації (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Загальна класифікація систем керування АТЗ

Розглянемо об'єкти АТЗ, для керування якими використовуються мікропроцесорні (МП) системи керування, і визначимо перелік інформаційних параметрів, необхідних для програмної реалізації алгоритмів керування за обраними критеріями оптимізації.

Системи керування ДВЗ поєднують комплекс функціональних систем керування: впусканням повітря; подачею і уприскуванням

пального; запалюванням; газорозподільним механізмом; ступенем стиснення в циліндрах; охолодженням; полегшенням пуску; екологічними характеристиками двигуна.

Критеріями оптимізації керуючих впливів для ДВЗ є максимальна ефективна потужність на валу двигуна, мінімальна витрата пального, мінімальна токсичність відпрацьованих газів (ВГ). У системах керування ДВЗ, як інформаційні розглядаються параметри, що характеризують поточний швидкісний, навантажувальний і температурний режим двигуна: частота обертання колінчастого валу (КВ), положення дросельної заслінки (ДЗ), температури охолоджуючої рідини (ОР).

Система зчеплення має задовольняти таким вимогам. По-перше, забезпечувати максимальну швидкість включення зчеплення незалежно від частоти обертання колінчастого валу. По-друге, виконувати монотонне підвищення моменту, який передається зчепленням під час підвищення частоти обертання двигуна. При цьому, на режимі холостого ходу система має повністю від'єднати зчеплення, а після підвищення частоти до заданого значення навпаки, забезпечити блокування зчеплення, щоб виключити його пробуксовку. По-третє, передбачити можливість зміни характеру залежності моменту, який передається зчепленням, від частоти обертання колінчастого валу, якщо втручається водій. По-четверте, забезпечувати швидке блокування зчеплення після надходження команди на її виконання. Швидкість включення зчеплення після вмикання передач має визначатися режимом руху автомобіля і навантаженням двигуна. Таким чином, в системі зчеплення, як інформаційні розглядаються параметри: частота обертання колінчастого валу, команди водія, швидкість руху автомобіля, навантаження двигуна. Вихідною функцією, яка підлягає оптимізації, є величина моменту, який передається зчепленням.

Для *системи керування коробкою передач* також використовуються перераховані інформаційні параметри, але функція перетворення полягає в оптимізації швидкісної передачі, а саме в забезпеченні системою певного співвідношення, залежно від режимів руху автомобіля. До того ж, система має виключати помилкове втручання водія в ручному режимі керування.

Системи керування повним приводом призначені для оптимального розподілу крутного моменту по осях і окремим колесам автомобіля з метою забезпечення кращого зчеплення коліс з дорожнім поло-

тном. В системі розподілу крутного моменту, як інформаційні розглядаються параметри: кутова швидкість обертання кожного колеса, частота обертання вихідного валу коробки передач, команди водія, швидкість руху автомобіля, навантаження двигуна. Керуючі впливи на систему розподілу моменту реалізуються за допомогою керованих передавальних муфт, роздавальних коробок і диференціалів.

Системи рульового керування в своїй основі мають підсилювач керма, призначений для зміни передавальних характеристик (коефіцієнтів посилення і передачі кутового відхилення) залежно від режимів руху і характеру маневрування автомобіля. У якості інформаційних, розглядаються параметри: кутове положення рульового колеса, зусилля на рульовому валу, швидкість руху автомобіля.

Система керування гальмуванням (ABS) призначена для забезпечення оптимального процесу гальмування автомобіля. Оптимізації підлягає гальмівний момент на колесі, який створюється гальмівною системою. У якості інформаційних параметрів використовуються кутові швидкості обертання коліс і реальна (курсова) швидкість руху автомобіля. Критерієм оцінки ефективності гальмування є якість зчеплення колеса з поверхнею дороги.

Система керування підвіскою забезпечує оптимальне функціонування (реакцію) її елементів при різних режимах руху і навантаженнях автомобіля, залежності від якості дорожнього полотна. Об'єктами керування системи є пружні елементи (ресори) і демпфуючі пристрої (амортизатори). У перших можна регулювати жорсткість і рівень установки, у других – рівень дисипативної сили, яка поглинається амортизатором. Системою вирішуються такі завдання: зменшення амплітуди коливань кузова при русі автомобіля (мінімізація вібрацій); усунення осідання кузова при прискореннях та гальмуванні; підтримка постійного рівня кузова, щодо поверхні дороги (стабілізація положення). Для виконання цих завдань використовується інформація про: швидкість руху автомобіля; положення керма; уповільнення або прискорення; положення селектора коробки передач; положення дросельної заслінки; положення кузова до осі колеса.

Використовуючи прийняті позначення (див. рис. 1.2), можна скласти таблицю для визначення функціоналу якості керування $Z_k = F(Y_j)$ через функції перетворення вхідних сигналів $Y_j = f(X_i)$ для окремих функціональних систем двигуна на лінгвістичному рівні (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Лінгвістичні моделі функціональних систем керування АТЗ

Об'єкт (система) керування	Інформаційні сигнали X_i	Сигнали керування $Y_j=f(X_i)$	Параметри, що оп- тимізуються $Z_k=F(Y_j)$
ДВЗ	-положення КВ, -частота обертання, -положення ДЗ, -витрата повітря, -температура ДВЗ.	-модулем запалювання, -регулятором ХХ, -паливними форсунками, -вентилятором охолодження, -паливним насосом.	-мінімізація токсичності відпрацьованих газів, -мінімізація витрати пального, -підвищення потужності ДВЗ.
Зчеплення	-частота обертання КВ; -ступень натискання педалі зчеплення; -швидкість автомобіля, -навантаження ДВЗ.	-приводом диска зчеплення.	-швидкість вмикання, -момент, що передається.
Коробка передач	-частота обертання КВ, -положення педалі зчеплення; -швидкість автомобіля, -положення селектора передачі, -навантаження ДВЗ.	-приводами АКП та зчеплення.	-швидкісна передача.
Привід	-кутова швидкість обертання коліс, -частота обертання вихідного валу КПП, -положення педалі зчеплення; -швидкість автомобіля, -положення селектора передачі, -навантаження ДВЗ.	-приводами роздаткової коробки, муфт и диференціалів.	-розподіл крутного моменту по колесам.

Рульове керування	-положення руля -фактична швидкість автомобіля -крутний момент на рульовому валу	-приводом підсилювача рульового механізму.	-момент, який передається на рульовий механізм, -кут відхилення коліс, -повертаюча реакція рульового колеса.
Гальма	- ступень натискання педалі гальма, - кутова швидкість обертання коліс, -фактична швидкість автомобіля.	-приводами системи гальм.	-гальмівний момент на колесах.
Підвіска	-положення кузова, -швидкість и прискорення автомобіля, -положення руля.	-параметрами пружин, балонів, ресор, амортизаторів.	-демпфірування коливань кузова, -стабілізація положення кузова.

Щодо гнучкості керування, розрізняють системи, які мають жорсткий алгоритм функціонування (розімкнуті системи) і замкнуті системи, алгоритм функціонування яких визначається (коригується) на підставі аналізу вихідного параметра об'єкта керування (зворотного зв'язку).

У *розімкнутих системах* в якості інформаційних використовуються тільки структурні параметри об'єкта керування X_1 (див. рис. 1.2). На підставі структурних параметрів формується оптимальний сигнал керування об'єктом Y_1 .

У *замкнених системах* в якості інформаційного додатково обирається вихідний параметр об'єкта керування X_3 , що підлягає оптимізації. Гнучкі (адаптивні) системи дозволяють уникнути похибки керування, яка виникає в результаті непередбачених факторів, що збурюють. Так, наприклад, детонація ДВЗ, викликана неякісним паливом, усувається при наявності сигналу зворотного зв'язку від датчика детонації, шляхом коригування кута випередження запалювання. Зворотній зв'язок по кисню в вихлопному тракті дозволяє підтримувати стехіометричну паливну суміш в циліндрах ДВЗ, шляхом коригування

тривалості відкритого стану форсунки. При цьому, причиною порушення оптимального складу паливної суміші може стати засмічення паливного каналу або зниження тиску пального в рампі форсунок.

Слід додати, що деякі системи керування залежно від функціонального призначення, можуть бути виконані тільки як замкнуті. Наприклад, в круїз-системах підтримки постійної швидкості руху автомобіля за вихідний параметр і параметр керування сприймається швидкість руху автомобіля, а як збуджуючі фактори розглядаються зміна профілю дорожнього полотна, аеродинамічний опір повітря та інші дестабілізуючі фактори [10].

За архітектурою апаратної будови розрізняють кілька композицій системи. У *функціональних системах* реалізується функція керування виконавчим пристроєм конкретного призначення (запалювання, упорскування, гальма). *Комплексні системи*, поєднують кілька функціональних систем по керуванню конкретним об'єктом керування (ДВЗ, підвіскою). *Системи комбінованої структури* поєднують кілька комплексних і функціональних систем керування декількома об'єктами одночасно (рис. 1.4).

Комбіновані системи, залежно від способу підключення функціональних елементів можуть мати логічну, ієрархічну або паралельну апаратну структуру.

В *системах логічної структури*, структурні зв'язки організовані аналогічно схемам на логічних елементах (елемент має кілька входів але один вихід).

В *ієрархічній структурі* розглядаються апарати по рівням ієрархії керування. Так, наприклад, в системі керування гібридною силовою установкою на верхньому рівні вирішується завдання перерозподілу потужності по силовим агрегатам установки (ДВЗ, електродвигун, АКБ), на другому – реалізуються системи автоматичного керування силовими агрегатами, на третьому (нижньому) – окремі канали регуляторів різного призначення.

В *паралельній структурі*, вхідні сигнали від загальних датчиків надходять одночасно на ЕБК різного призначення (зазвичай організують CAN-лінії зв'язку). У загальному випадку, можна розглядати змішані структури.

З позицій інформаційних зв'язків в комбінованих системах архітектурна композиція надається у вигляді *топологічних схем*. При цьому, для організації каналів зв'язку застосовуються інформаційні

інтерфейси, які за способом реалізації поділяють на звичайні незалежні і послідовні CAN інтерфейси (Controller Area Network) [1, 2, 4].

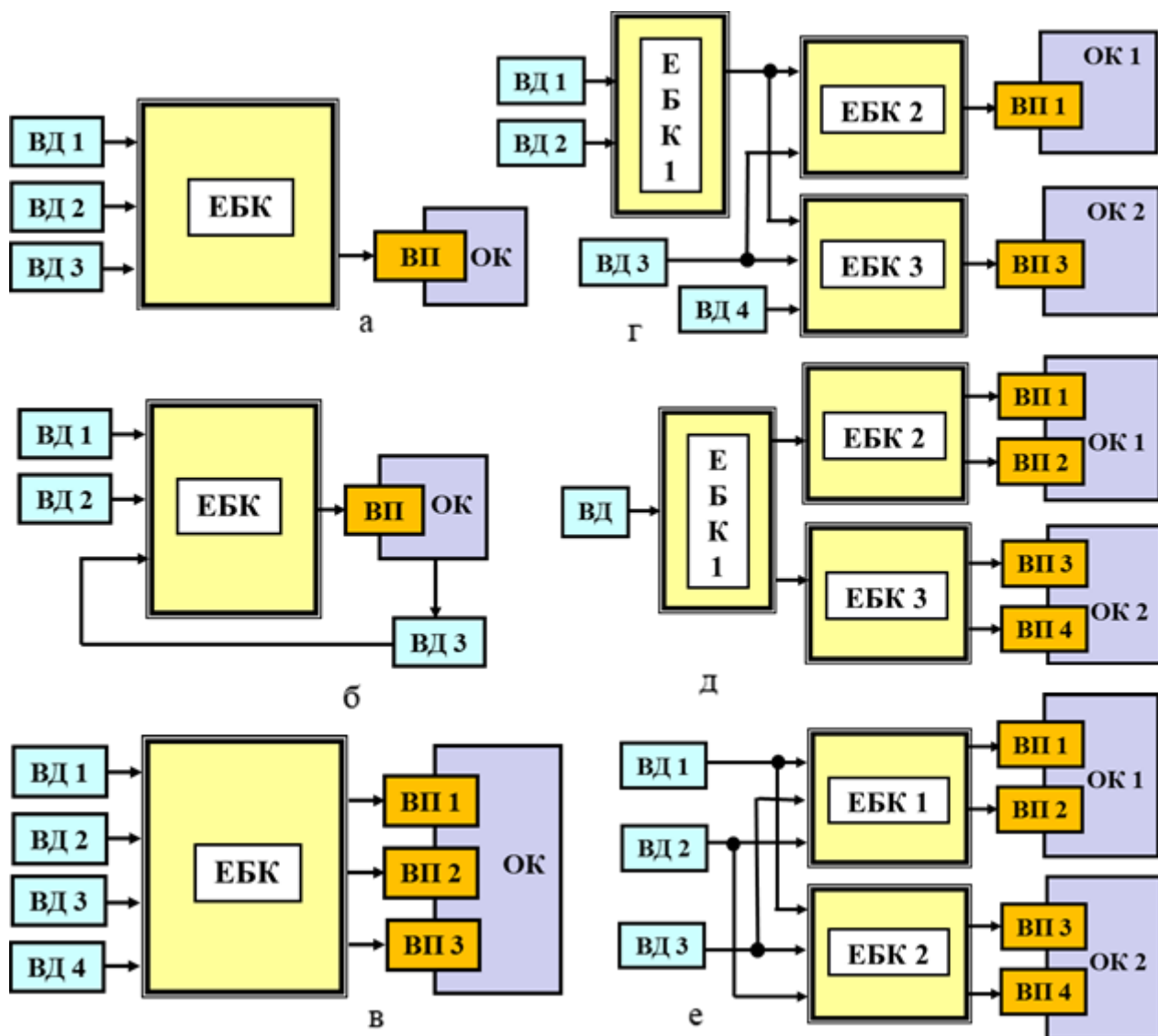


Рис. 1.4. Композиції апаратної структури систем керування:
а – функціональна розімкнута; б – функціональна замкнута; в – комплексна;
г – комбінована логічна; д – комбінована ієрархічна;
е – комбінована паралельна

В автомобільних CAN системах інформація транслюється по шині передачі даних по чергові по одній лінії (каналу зв'язку). В системах керування, пов'язаних з рухом автомобіля, CAN зв'язок забезпечується в режимі реального часу. Для цього, використовують високошвидкісні шини CAN зв'язку (швидкість передачі даних до 1 мб/с). В системах бортової електроніки, не пов'язаних з швидкісними режи-

мами (клімат-контроль, центральний замок і регулювання сидінь), забезпечують мультіплексну передачу даних по низько-швидкісним шинам CAN зв'язку (до 125 кбіт/с). Для мобільного зв'язку центрального дисплея з елементами керування (система навігації, телефон, аудіо установки) також використовується низько-швидкісна CAN. При цьому, забезпечується зв'язок тільки по командним операціям, а пряма трансляція аудіо та відеоданих неможлива. В діагностичних системах достатня швидкість обміну даними по CAN інтерфейсу становить 125...500 кбіт/с.

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

Щоб реалізувати цей принцип, CAN-системою формуються ідентифікаційні мітки змісту даних та пріоритетності повідомлень. При цьому більший пріоритет надається сигналам, які змінюються з більшою швидкістю або є більш важливими з позицій формування впливів, що управляють.

Для передачі повідомлення в CAN-шину генерується кадр даних певного формату. Формат кадру даних включає сім послідовних зон (полів): початок кадру (початкова синхронізація всіх систем); арбітраж (визначення пріоритетів передачі даних блоків); керування (контроль формату даних); дані (інформаційний зміст); перевірка збитковості (контроль збою даних); підтвердження прийому (ознака прийому непошкодженого сигналу); кінець кадру (кінцева синхронізація всіх систем).

За ступенем автоматизації розрізняють системи, що працюють в автоматичному режимі без участі водія (керування запаленням, уприскуванням пального) і системи, що працюють в напіваавтоматичному режимі, де в контурі керування задіяний водій. У автоматизованих системах автомобіля використовуються датчики, які параметрують стан органів керування (положення педалей, важелів, рульового колеса).

1.3. Атрибути периферійних пристроїв

До периферійних пристроїв, що підключаються до ЕБК, відносяться: датчики; виконавчі пристрої; комутуючі та захисні апарати кіл живлення; кореспонденти інтерфейсів. Залежно від області застосування, розрізняють периферійні пристрої широкого застосування, спеціального призначення і спеціалізованого використання.

Датчики виміральної інформації класифікують за кількома загальними ознаками [1, 4, 10...12]: призначенню або функції перетворення; принципом дії чутливого елемента; способу перетворення сигналу і конструктивної реалізації (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Класифікація датчиків неелектричних величин за загальними ознаками

Для ідентифікації датчика конкретного типу необхідно визначити всі його класифікаційні атрибути. Наприклад, автомобільний (область застосування) датчик витрати повітря (призначення), термоанемометричний (принцип дії), мехатронний (особливість устрою), стаціонарний (особливість конструкції), аналоговий (вид сигналу).

У датчиках мехатронного типу передбачається наявність чутливого і вимірального елементів, а також пристрою обробки (перет-

ворення) початкового електричного сигналу. Такі датчики, як правило, виготовляються за інтегральною технологією. Наприклад, датчик розрідження (тиску) базується на кремнієвій платівці, що виконує функцію пружного чутливого елемента, на якій інтегровано тензорезисторний вимірювальний міст, підсилювач напруги та аналого-цифровий перетворювач (АЦП). На виході такого датчика формується сигнал у вигляді двійкового коду, який відповідає рівню розрідження (тиску). До переваг мехатронних датчиків слід віднести високу компактність, перешкодостійкість, монолітність виробу, надійність і можливість уніфікованого застосування.

Сигнали цифрованих значень в датчиках мехатронного типу являють імпульси прямокутної форми, нормовані за амплітудою. Інформаційними параметрами таких сигналів є: кількість, частота слідування, шпаруватість структури.

Відмінністю автомобільних датчиків є певний діапазон вимірювання параметра, конструктивна прив'язка до об'єкту керування, стійкість до зовнішніх впливів (вібрації, агресивне середовище, температура, електромагнітне випромінювання). У назві датчика системного призначення, вказується не тільки фізична величина, яка перетворюється, а й позначається об'єкт (система), стан якого реєструється. Так, наприклад, цифрований датчик Холла однакової конструкції, залежно від системи де він використовується, може називатися як датчик сигналу системи запалювання або кутового положення розподільного валу системи керування ДВЗ, або частоти обертання колеса системи ABS.

Виконавчі пристрої електричних систем керування [1, 4, 10] можна класифікувати за:

- призначенням або функцією перетворення (приводи, нагрівачі, запальники, сигналізатори);
- принципом дії (електромагнітні, п'єзоелектричні, термоелектричні, фотоелектричні, електрогідравлічні, електропневматичні);
- конструктивним виконанням (електроклапан, електродвигун, актуатор, лінійний привід, реле, нагрівальний елемент, соленоїд, розрядник, зумер, індикатор);
- способом підключення (безпосереднього і дистанційного).

До переліку виконавчих пристроїв автомобільних систем керування можна віднести електромеханічні перетворювачі (контактори,

клапани та електродвигуни різного призначення); термоелектричні перетворювачі (свічки розжарювання та підігріву); перетворювачі електричних величин (котушки і модулі запалювання).

Приклади виконавчих пристроїв автомобільних мехатронних систем безпосереднього підключення до ЕБК, наведено на рис. 1.6.



Рис. 1.6. Виконавчі пристрої систем керування трансмісією:

а - муфта блокуюча; б - муфта обмеженого ковзання; в – серводвигун роботизованої КП; г – серводвигун роздавальної коробки; д – двоходовий гідравлічний клапан; е – триходовий пневматичний клапан; ж – відсічний клапан; к, л – електроклапани гідроблоку АКП

Більш потужні виконавчі пристрої (нагрівачі повітря та пального, електродвигуни паливних насосів і силових актуаторів) керуються через дистанційні реле.

1.4. Структура електронного блоку керування

Електронний блок систем керування (ЕБК) містить пристрої вхідної обробки (узгодження сигналів датчиків), мікропроцесорний пристрій і апаратні драйвери (вихідні каскади), які перетворюють двійковий код мікропроцесора до значень параметрів сигналу керування виконавчими пристроями [1, 4, 8...10]. Живлення означених пристроїв і датчиків вимірювальної інформації забезпечується стабілізатором напруги (рис. 1.7).

У вхідних колах схем узгодження відбувається нормалізація сигналу (фільтрація електромагнітних перешкод, масштабування). На виході схем узгодження формується дискретний сигнал (двійковий код), зрозумілий для мікропроцесора.

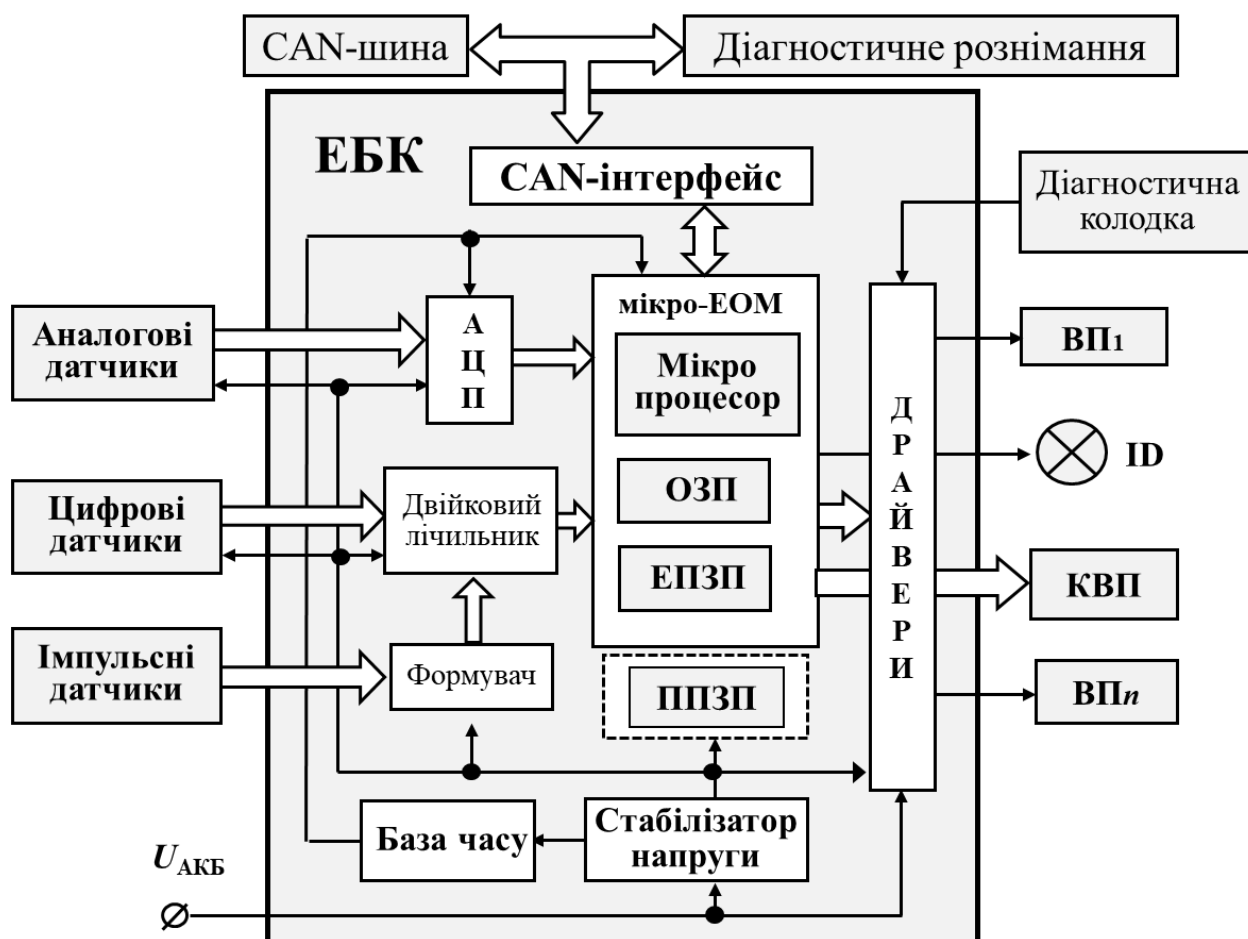


Рис. 1.7. Схема узагальненої структури мікропроцесорної системи керування

Сигнали аналогових датчиків перетворюються за допомогою АЦП (аналого-цифрових перетворювачів). Слід зазначити, що в деяких системах рівень напруги живлення борта сприймається як вимірювальна інформація аналогового вигляду.

Сигнали імпульсних і цифрованих датчиків надходять в пристрій вхідної обробки. Нормалізація імпульсних сигналів загального вигляду полягає в перетворенні їх до прямокутної форми. Для перетворення цифрованого сигналу до двійкового коду використовуються двійкові лічильники.

Сигнали, які утворюються датчиками у вигляді двійкового коду (датчики мехатронного типу) надходять безпосередньо в мікропроцесор або підлягають перетворенню з послідовного коду до паралельного або навпаки, за допомогою відповідних перетворювачів коду.

Електронна пам'ять мікропроцесора в ЕБК забезпечується трьома типами запам'ятовуючих пристроїв: постійно програмованим (ППЗП), оперативним (ОЗП), електрично-програмованим (ЕПЗП).

В *постійній пам'яті* зберігаються робочі команди, які утворюють алгоритми керування, і калібрувальна інформація. Калібрувальна інформація зберігається у вигляді характеристичних карт оптимізованих значень режимних параметрів (кутів випередження запалювання, коефіцієнтів надлишку повітря). Інформація, яка зберігається в ППЗП, не підлягає зміні в процесі експлуатації автомобіля і зберігається при відключенні живлення ЕБК (енергонезалежна пам'ять).

Оперативна енергозалежна пам'ять використовується для тимчасового зберігання вимірюваних параметрів, які надходять зі схем узгодження датчиків і термінової інформації з ППЗП, яка необхідна для розрахунків (формування вихідних сигналів мікропроцесора).

Електрично-програмована пам'ять використовується для тимчасового зберігання коефіцієнтів корекції характеристичних карт під час активізації адаптаційних алгоритмів через зворотні зв'язки системи керування. На відміну від ОЗП і ППЗП, інформація в ЕПЗП поновлюється в процесі експлуатації автомобіля і зберігається при відключенні живлення ЕБК. В ЕБК автомобільних систем керування, на даний час, у якості ЕПЗП і ППЗП використовуються пристрої флеш-пам'яті.

У мікропроцесорі відбуваються арифметичні і логічні обчислення вимірюваних параметрів, які знаходяться в ОЗП із залученням необхідної калібрувальної інформації, яка зберігається в ППЗП і ЕПЗП. На виходах мікропроцесора формуються дискретні сигнали керування, які надходять на апаратні драйвери (вихідні каскади), де перетворюються до потрібного виду і узгоджуються з вхідними параметрами виконавчих пристроїв (ВП).

В більшості випадків, керування виконавчими пристроями полягає у підключенні живлення бортової мережі. При цьому, якщо, ВП підключається у випадковому режимі, для комутації струму застосовують транзисторні ключі. У разі керування електромагнітними пристроями в періодичному режимі зі значною частотою комутації струму (наприклад, паливними форсунками), для підвищення динамічних якостей ключа, додатково застосовують схеми прискорення (драйвери ключів). Для керування електродвигунами постійного струму, у якості драйверів використовують цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) з лінійними підсилювачами струму, і ШІМ-регулятори (широтно-імпульсна модуляція). Зокрема, для керування кроковими і вентильними електродвигунами застосовуються мостові інвертори, а

для їх активізації в мікрокроковому режимі, потрібні локальні контролери. Деякі інформаційні сигнали з виходів мікропроцесора передаються на засоби індикації через спеціальні інтерфейси (лампу діагностики СЕ, контрольно-вимірювальні прилади КВП).

Електронні пристрої в структурі ЕБК і більшість датчиків прямого перетворення потребують електроживлення фіксованим значенням напруги. Ця напруга забезпечується стабілізатором (перетворювачем) напруги.

Інформаційна *CAN-шина* забезпечує спілкування між ЕБК систем керування, що складають комбіновану структуру (ЕБК-кореспонденти).

На сучасному автомобілі крім шин CAN-структури використовуються і інші інтерфейси, що мають специфічні властивості:

- Flex Ray – оригінальна технологія пакетної передачі даних (10 Мбіт/с, змішана топологія, двопровідна);

- MOST (Multimedia Oriented System Transport) – інформаційно-комунікаційний зв'язок засобів мультимедіа (22,5 Мбіт/с, кільцевий, оптоволоконний);

- Ethernet – одночасний швидкий доступ до програмування та кодування (100 Мбіт/с, однопровідна, лінійна);

У структурі, розглянутих шин, також можуть використовуватися підпорядковані шини передачі даних другого порядку (підшини):

- BSD (Berkeley Software Distribution) – консервативна система передачі (9,6 кбіт/с, лінійна, однопровідна);

- LIN (Local Interconnect Network) – локальна мережа кузовного електроустаткування (до 20,0 кбіт/с, лінійна, однопровідна);

- Local-CAN – локальна мережа передачі великих обсягів даних від телеметричних датчиків (500 кбіт/с, лінійна, двопровідна).

Наявність значної кількості елементів і застосування складних алгоритмів функціонування систем керування потребує значної уваги під час визначення технічного стану мехатронної системи в цілому, локалізації несправного елемента, визначення місця і причини пошкодження. Для поліпшення процесу діагностування та зниження витрат на технічне обслуговування автомобілів в більшості мікропроцесорних систем керування передбачена інтегрована система самодіагностики. Підключення зовнішніх діагностичних приладів, при цьому, здійснюється за допомогою *діагностичного рознімання*.

1.5. Моніторинг параметрів та стратегія керування

Для реалізації оптимальних керуючих впливів на об'єкт керування на поточному режимі функціонування за допомогою виконавчих пристроїв необхідно: по-перше, отримувати інформацію про фактичний режимний стан об'єкта керування (здійснювати моніторинг параметрів, що характеризують стан об'єкта); по-друге, знати за якими законами (алгоритмами) слід формувати керуючі сигнали в середовищі ЕБК. Висловлюючись математичною мовою, – щоб знайти значення функції, необхідно задатися значеннями параметрів і визначити характер функціонального перетворення.

Загальне поняття моніторингу визначає сукупність спостережень протягом певного часу спрямована на встановлення фактичного стану об'єкту з метою регулювання якостей цього об'єкта. Моніторинг має адресність й предметну спрямованість, застосовується до конкретних об'єктів для рішення конкретно поставлених задач [13].

Щодо технічних систем, можна розглядати *два аспекти* моніторингу, які пов'язані або з процесом керування об'єктом, або з визначенням його технічного стану. У першому випадку, як індикаторні, розглядаються режимні параметри, що характеризують поточний стан справної системи, у другому, – діагностичні параметри, що визначають ступінь справності системи. Визначимо декілька понять.

Система моніторингу – сукупність засобів і методів проведення моніторингу, що розглядається разом з об'єктом керування (дослідження).

Монітор-система – програмно-апаратна реалізація системи моніторингу конкретного призначення. Програмна частина монітор-системи (монітор-програма) представляє алгоритми проведення вимірювань параметрів та обробки отриманої інформації у певних режимах та форматах. Апаратна частина монітор-системи представляє інформаційно-вимірювальний комплекс, що складається з вимірювальної частини (датчиків вимірювальної інформації), пристроїв обробки інформації та засобів відображення інформації.

Формат моніторингу визначається видом (форматом) об'єкта досліджень (система керування або система діагностики) і характеризується обсягом (кількістю параметрів) і щільністю вимірювань (кількістю датчиків) індикаторних параметрів.

Режим моніторингу визначається метою досліджень і характеризує часову прив'язку монітор-програми (безперервний, періодичний, систематизований, вибірковий, на замовлення, ситуаційний). Виходячи з перерахованих визначень, системи моніторингу класифікують за низкою ознак [13]:

- кількість та тип використовуваних методів неруйнівного контролю (комплексні, спеціалізовані);
- тип експертної системи (з підтримкою прийняття рішень, діагностичні, індикаторні);
- обсяг індикаторних параметрів або виявлених несправностей (широкого класу; вузького класу);
- значення статичної та динамічної помилки (низька, середня, висока);
- кількість вимірювальних каналів (багатоканальні, одно-канальні);
- спосіб опитування датчиків (паралельні, послідовні, комбіновані);
- архітектура системи (розподілені, зосереджені);
- величина ризику пропуску раптової відмови (низькою, середньою та високою статичної помилки);
- тип аналізатора сигналів (векторні, скалярні);
- тип індикатора стану (прості, багаторівневі, комплексні);
- наявність та рівень діагностичної мережі (без мережі, ручна, інтегрована, автоматична мережа);
- тип керування (ручні, автоматизовані, автоматичні).

При побудуванні систем моніторингу дотримуються певних принципів, як і для систем керування, оскільки система моніторингу є складовою частиною системи керування [13]:

- достатності (мінімального числа датчиків);
- інформаційної повноти (кількість індикаторних параметрів);
- інваріантності (універсальність використання);
- самодіагностики (перевірка функціональності, адаптація до умов вимірювань, що змінюються);
- структурної гнучкості (можливість реалізації оптимальної структури, виходячи з критеріїв необхідної швидкодії);
- корекції (можливість нормалізації сигналів і забезпечення нелінійності характеристик датчиків, а також узгоджувальних перетворювальних трактів);

- сумісності інтерфейсу (інформаційна візуалізація для оператора та можливість підключення периферійних пристроїв, а також суміжних систем).

Система моніторингу у складі автомобільних мікропроцесорних систем керування реалізується на базі: датчиків вимірювальної інформації, розміщених на агрегатах автомобіля; пристроїв узгодження сигналів в структурі ЕБК; програм цифрової обробки і перетворення кодової інформації в середовищі мікропроцесора; інтерфейсів зв'язку; індикаторів.

Під стратегією керування, в загальному випадку, розуміється структура і послідовність виконання операцій перетворення параметрів (вхідних сигналів) до реалізації оптимальних керуючих впливів на об'єкт керування. Використовуються різні інформаційні структури програм, створених на базі окремих алгоритмів перетворення вхідних сигналів (стимулів) до вихідних (відгуків): логічна, паралельна, ієрархічна (аналогічно апаратній структурі ЕСК).

Поняття «алгоритм», у процедурному сенсі, має на увазі послідовність виконання операцій. Вид алгоритму конкретизує його призначення і підхід до будови. В автомобільних системах керування застосовуються кілька видів алгоритмів:

- обчислювальні алгоритми перетворюють деякі вхідні дані, що задаються, у вихідні (функціональні перетворювачі);

- інтерактивні алгоритми передбачають взаємодію з деяким об'єктом керування (джерелом даних) і покликані забезпечити керуючі впливи залежно від поточної ситуації, яка інтерпретується сигналами які надходять від об'єкта керування (динамічні системи керування);

- сплячі алгоритми не передбачають закінчення роботи (наприклад, підтримують нескінченний цикл очікування подій, на які видається відповідна реакція), проте використовують інтерактивний підхід (охоронні та аварійні системи).

- евристичні алгоритми використовують різні розумово-логічні міркування без суворого обґрунтування (експертні системи).

- лінійні (безумовні) алгоритми являють собою набір команд (вказівок), що виконуються послідовно в часі один за одним (забезпечення технологічних процесів).

- розгалужені (умовні) алгоритми містять хоча б одну умову, в результаті перевірки якої, може здійснюватися поділ на кілька альтернативних гілок алгоритму (діагностичні системи).

- циклічні (ітераційні) алгоритми передбачають багаторазове повторення однієї й тієї ж дії (одних і тих самих операцій) над новими (скоригованими) вихідними даними до задоволення деякої умови збіжності (системи оптимізації).

Реалізація окремих алгоритмів перетворення на апаратному рівні характеризуються засобами втілення (аналогові пристрої, цифрові регулятори, комбіновані перетворювачі АЦП і ЦАП, мікропроцесорні системи).

Широке практичне застосування знайшли вихідні функціональні перетворювачі, в яких виконується широтно-імпульсна (ШІМ-регулятори) і частотно-імпульсна (ЧІМ-регулятори) модуляція сигналу. Такі регулятори дозволяють змінювати середнє значення струму в індуктивному опорі навантаження (виконавчих пристроях) з мінімальними втратами потужності в регулюючому елементі.

При керуванні динамічними процесами в інерційних об'єктах керування використовуються ПІД-регулятори, які вносять в керуючий сигнал не тільки пропорційну, але й інтегральну та диференціальну складові сигналу зворотного зв'язку [1]. Таке рішення дозволяє компенсувати запізнювання реакції і післядію об'єкта керування, та як наслідок, виключити статичні помилки регулювання, що викликають автоколивальні процеси інерційної ланки. В мікропроцесорних системах означені регулятори реалізуються на програмному рівні.

1.6. Способи реалізації алгоритмів керування

Реалізація алгоритму керування залежно від складності функції перетворення, роздільної здатності та точності виконання може здійснюватися кількома способами. Якщо, для отримання оптимізованого значення сигналу керування достатньо виконати лише арифметичні і логічні операції або здійснити прості функції перетворення над вхідними параметрами, можна обмежитися застосуванням електронних пристроїв, таких як арифметично-логічні схеми. Коли вхідних параметрів стає набагато більше і функція перетворення стає складнішою, доцільніше реалізувати алгоритм керування з використанням наперед заданих значень цієї функції (характеристичних карт). Поряд з цим, для побудови сучасних систем керування використовуються методи нечіткої логіки та штучних нейронних мереж (ШНМ). Реалізація таких систем можлива тільки на базі сучасних мікропроцесорних пристроїв і структур.

В алгоритмах *логічного керування* оперують поняттями класичної (булевої) логіки – «ТАК» і «НІ» (одиниця і нуль). В апаратному наданні вхідні сигнали (датчиків) задаються дискретними значеннями «поданий/не поданий», вихідні сигнали керування (виконавчими пристроями) формуються за ознакою «увімкнути/вимкнути». Функціональні перетворювачі у структурі алгоритму являють логічні елементи, а сама структура, – логічний перетворювач коду.

Використання *нечіткого керування* рекомендується для складних процесів, коли не існує простої математичної моделі для нелінійних процесів високих порядків і для вирішення завдань, пов'язаних з асоціативним мисленням людини (експертна оцінка). В цьому випадку, потрібно більше відповідей (значень функції) для заданих умов (значень аргументів) [1, 14].

Щоб використовувати теорію нечіткості на цифрових комп'ютерах, необхідні математичні перетворення, що дозволяють перейти від лінгвістичних змінних до числових аналогів (кодів) в ЕОМ.

Термін «*лінгвістична змінна*» надає будь-яку фізичну величину кількома значеннями у вигляді слів (поруч, подалі, недалеко, далеко). Одним з основних методів представлення знань в експертних системах є *продукційні правила*, що дозволяють наблизитися до стилю мислення людини. Сукупність таких правил визначає стратегію керування, що застосовується в даному завданні. В цілому весь процес побудування алгоритму нечіткого керування можна розбити на кілька кроків – фазифікація, розробка нечітких правил і дефазифікація.

Фазифікація являє перехід від точного значення вхідних змінних до значень лінгвістичних змінних (нечітких значень) за допомогою певних функцій належності (закономірностей зміни), значення яких перебувають в діапазоні 0...1 (0...100%). Закон змінення функції належності обирається експертом. Найбільше застосування знайшли кусочно-лінійні функції (рис. 1.8).

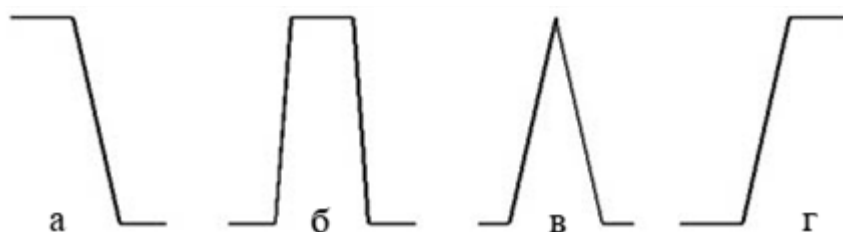


Рис. 1.8. Стандартні функції належності:

а – Z-функція; б – П-функція; в – Л-функція; г – S-функція

Правило продукції складається з посилок (антецедента «ЯКЩО»), зв'язок «І»/ «АБО» і висновку (консеквента «ТОДІ»). Може бути декілька посилок в правилі. В такому випадку, вони поєднуються логічними зв'язками «І», «АБО». Зазвичай, продукційне правило записується у вигляді: «ЯКЩО (посилка) (зв'язка І/АБО) (посилка) ТОДІ (висновок)».

Процес обчислення нечіткого правила називається нечітким логічним виводом, який здійснюється шляхом вибору екстремальних значень функції належності посилок і висновків за певними правилами [1, 14].

Після нечіткого виведення проводиться *дефазифікація* продукції, яка полягає в переході від нечітких значень величин до певних фізичних параметрів сигналів для керування виконавчим пристроєм. Для усунення нечіткості остаточного результату існує кілька методів: центру максимуму; найбільшого значення; центроїда [1, 14].

Алгоритми нечіткої логіки знаходять практичне застосування в МП системах керування: ДВЗ, трансмісією, динамікою, гальмуванням, паркуванням, рульовим механізмом.

Характеристична карта містить множину оптимальних значень параметрів, які можна отримати теоретичним (аналітичним) або практичним (експериментальним) шляхом. Аналітичне та комп'ютерне моделювання об'єкта керування не завжди враховує всі його реальні властивості, тому більш точним є спосіб натурального відтворення процесу функціонування об'єкта керування. Процес отримання значень параметрів характеристичної карти прокоментуємо на прикладі системи керування запалюванням бензинового ДВЗ (рис. 1.9).

Двигун, для якого проектується система керування запалюванням, встановлюється на випробувальний стенд. Стенд дозволяє змінювати частоту обертання n і навантаження двигуна N та вимірювати ці вхідні параметри X_1, X_2 за допомогою відповідних датчиків.

На ДВЗ також встановлюються датчик ефективної потужності, аналізатор складу ВГ і вимірювач витрати пального, за допомогою яких реєструються найкращі показники AZ двигуна.

Процес формування характеристичної карти полягає у послідовному переборі комбінацій режимів ДВЗ (n_i, N_j) і запису в ППЗП найкращих (оптимальних) значень кута випередження запалювання α° для обраних режимів [10].

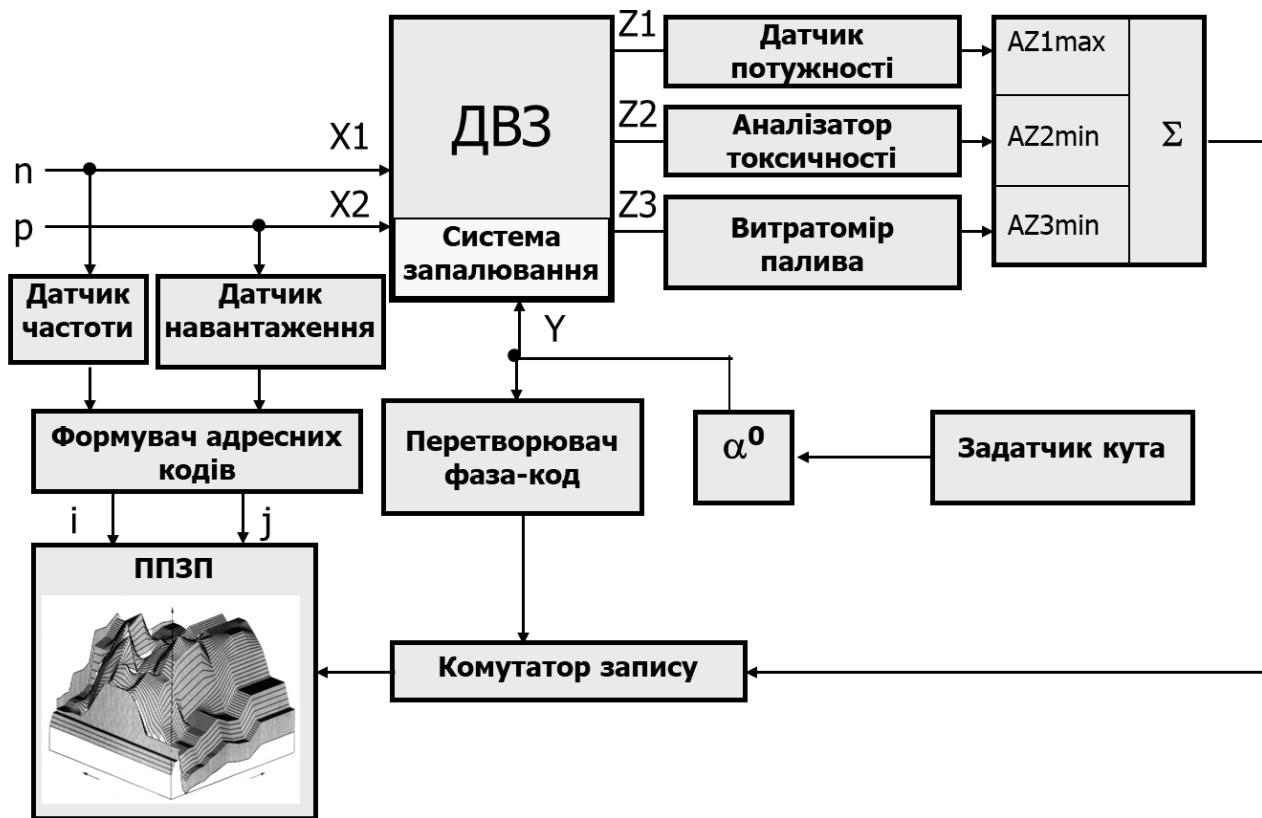


Рис. 1.9. Функціональна схема пристрою для формування характеристичної карти

Зазвичай формат матриці кута випередження запалювання становить $F(16 \times 16)$. На рис. 1.10, а показано тривимірну інтерпретацію характеристичної карти, отриманої після проведення випробувань ДВЗ описаним способом.

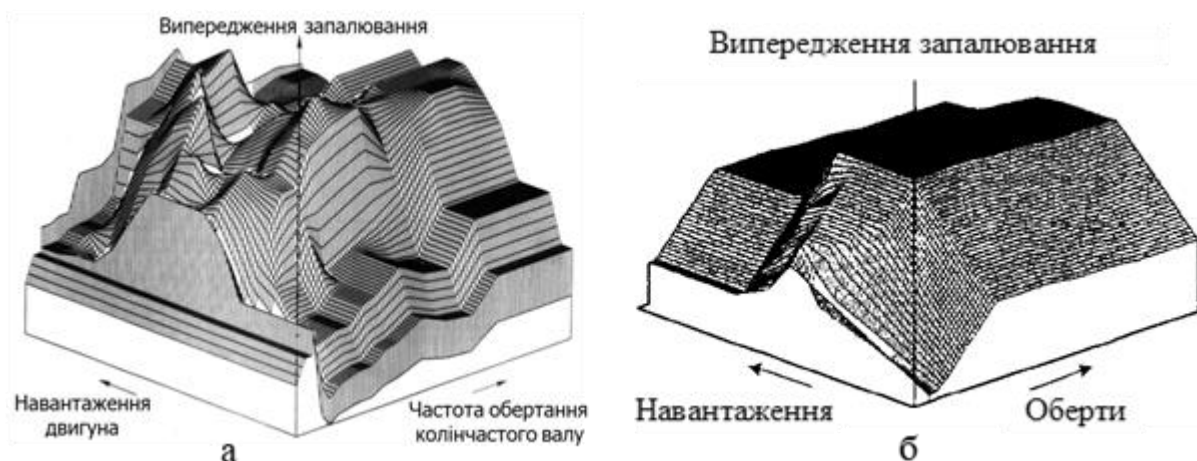


Рис. 1.10. Поверхня функції керування моментом запалювання:
а – характеристичної карти оптимальних значень;
б – реалізована за допомогою механічних автоматів

У порівнянні з результатами, які отримані при застосуванні механічних автоматів випередження запалювання (рис. 1.10, б) функціональна поверхня оптимальних значень є значно складнішою (негладкою). Аналогічним чином формується характеристична карта коефіцієнтів надлишку повітря для систем керування уприскуванням пального.

Характеристичні карти, збережені в ППЗП, використовуються під час експлуатації ДВЗ. Для прикладу, прокоментуємо процес оптимізації режиму спрацювання форсунок системи керування уприскуванням пального (рис. 1.11).

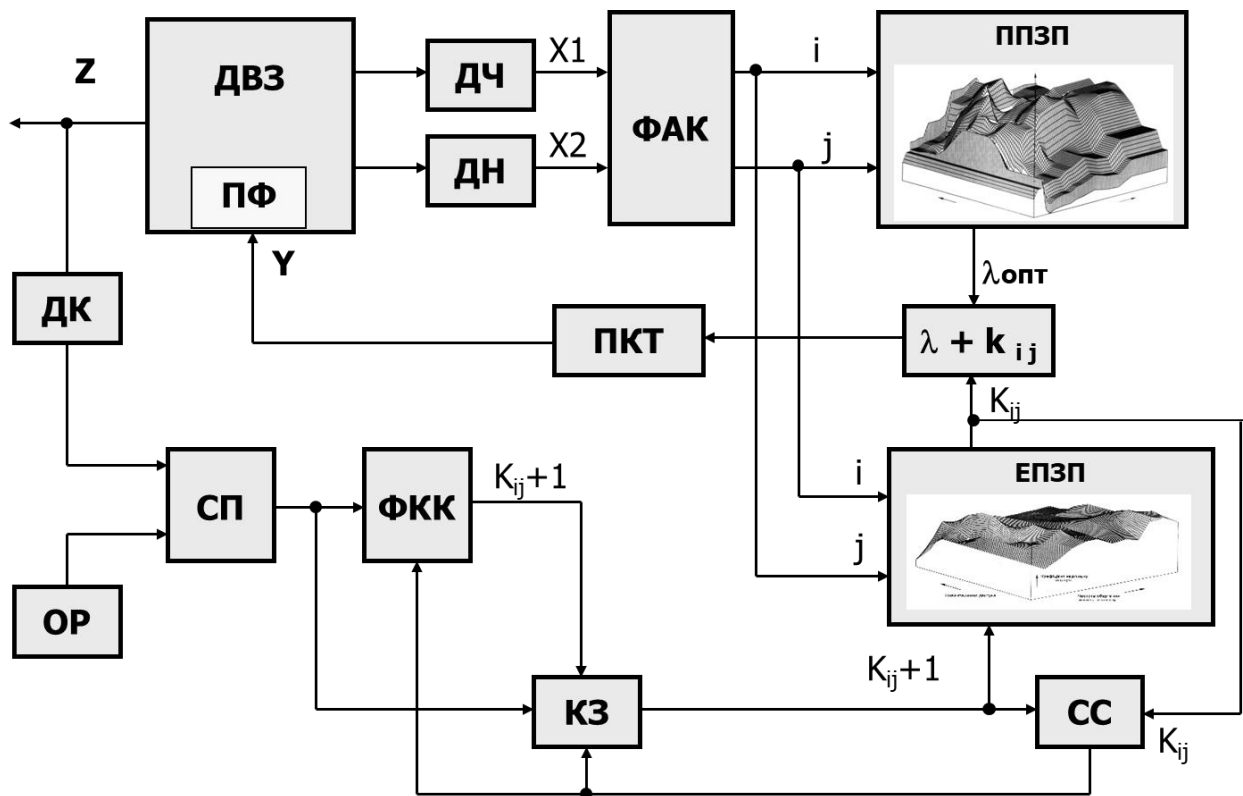


Рис. 1.11. Функціональна схема керування паливними форсунками

За допомогою датчиків частоти обертання «ДЧ» і навантаження двигуна «ДН» штатної системи керування ідентифікується робочий режим ДВЗ. Пристрій для формування адресних кодів «ФАК» на підставі цієї інформації визначає адресу (i, j) в пам'яті ППЗП, де зберігається код оптимального значення коефіцієнта надлишку повітря λ_{ij} для поточного режиму N_i, n_j . Вилучений двійковий код, перетворюється на імпульсний сигнал відповідної тривалості Y_{ij} (перетворювач код-тривалість «ПКТ»), який розглядається як сигнал керування паливними форсунками «ПФ». При зміні режимів ДВЗ цей процес повторюється.

Якщо, в системі керування передбачено зворотний зв'язок з датчиком концентрації кисню «ДК», додатково реалізується адаптивна функція системи. Канал зворотного зв'язку містить: значення опорного рівня кисню «ОР» для стехіометричної суміші; схему порівняння СП; формувач коду корекції «ФКК»; комутатор запису «КЗ»; схему співпадиння «СС». В такому випадку, виконується коригування коефіцієнта надлишку повітря k в разі виникнення структурних відхилень МС від справного стану. Процес адаптації відбувається за ітераційним алгоритмом з формуванням сітки корегуючих коефіцієнтів k_{ij} в енергонезалежній пам'яті ЕПЗП. Кореговане значення $\lambda_{\text{опт}} = \lambda_{ij} + k_{ij}$ надходить до форсунок через перетворювач код-тривалість ПКТ [10].

Якщо, в системі керування ДВЗ передбачено зворотний зв'язок за детонацією, корекції підлягає значення кута випередження запалювання. Алгоритм адаптації, в цьому випадку, менш складний і полягає в примусовому зниженні кута запалювання, аж до припинення детонації.

Штучна нейронна мережа (ШНМ) – математична модель, а також її програмне або апаратне втілення, створені за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж (мереж нервових клітин живого організму) [1, 15...17]. Структура найпростішої нейронної мережі являє пошарову організацію нейронів і зв'язків між ними (рис. 1.12).

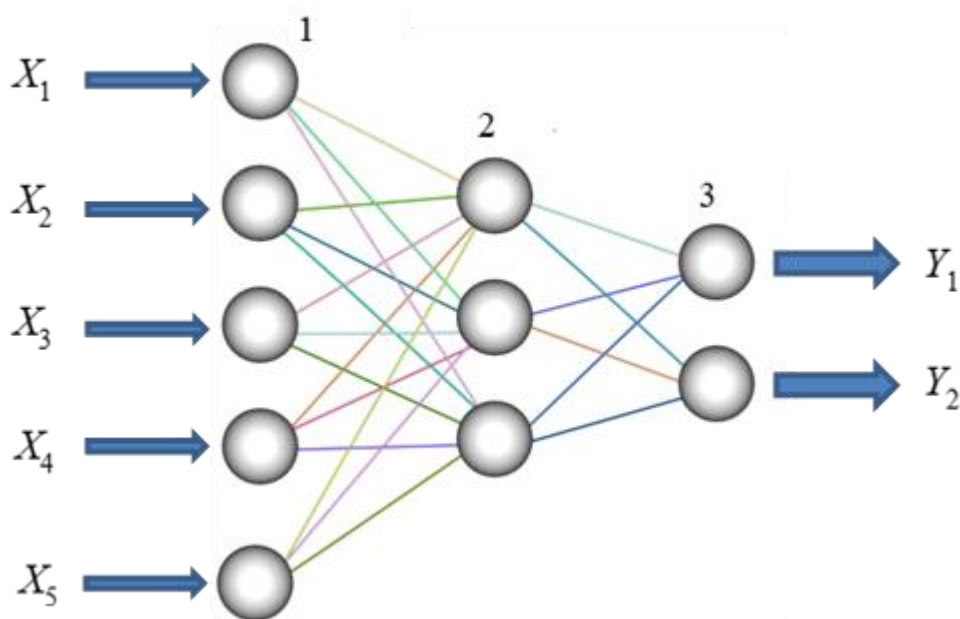


Рис. 1.12. Структура нейронної мережі:
1 – вхідний шар; 2 – прихований шар; 3 – вихідний шар

Нейрони вхідного шару отримують дані із-зовні (наприклад, від сенсорів) і після їх обробки передають сигнали через синапси (зв'язки) нейронам наступного шару. Нейрони другого (прихованого) шару обробляють отримані сигнали і передають їх нейронам вихідного шару. Якість з'єднання між нейронами шарів називається вагою. Значення кожного нейрона в кожному шарі буде залежати від ваги зв'язку і значення нейронів попереднього шару. Така, найпростіша ШНМ придатна навчатися і може знаходити прості взаємозв'язки в даних.

Стосовно до автомобільних систем ШНМ обробляє сигнали, отримані з датчиків зовнішньої інформації, приймає управлінські рішення в статусі водія і забезпечує реалізацію керуючих впливів за допомогою ВП. При цьому, використовуються ШНМ зворотного поширення, які здатні апроксимувати будь-яку функцію і перетворювати кілька вимірів одночасно.

Технічно ШНМ – це система простих процесорів (штучних нейронів) які взаємодіють між собою завдяки певній структурі зв'язків. Кожен процесор подібної мережі має справу тільки з сигналами, які він періодично отримує, і сигналами, які він періодично посиляє іншим процесорам.

Нейронні мережі не програмуються в звичному сенсі цього слова, вони навчаються. Можливість навчання – одне з головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами. Технічно, навчання полягає в знаходженні коефіцієнтів зв'язків між нейронами. В процесі навчання нейронна мережа здатна виявляти складні залежності між вхідними і вихідними даними, а також виконувати узагальнення. Це означає, що в разі успішного навчання, мережа зможе видати вірний результат за даними, які були відсутні в навчальній вибірці, а також неповних і/або сигналів з перешкодами.

Нейронні мережі дозволяють вирішувати ряд завдань: розпізнавання образів; класифікацію; прийняття рішень і керування; кластеризацію; прогнозування; апроксимацію; стиснення даних і асоціативного запам'ятовування; аналіз даних; оптимізацію; знаходження зразків у великих обсягах даних; орієнтацію в просторі та ін. [1, 18].

Перевірка адекватності навчання ШНМ проводиться шляхом тестування якості навчання на прикладах, які не брали участі в її навчанні. При цьому, число тестових прикладів має бути тим більше, чим вище якість навчання.

На сьогоднішній день розрізняють 26 типів ШНМ. З них 12 названі іменами їх винахідників. Щоб узагальнити властивості окремих ШНМ, їх класифікують за кількома ознаками [18]:

- типом вхідних даних: аналогові (на вході дійсні числа), виконавчі (на вході двійкові числа) і образні (на вході знаки, ієрогліфи, символи);
- характером навчання – з вчителем, без вчителя та з підкріпленням;
- характером налаштування синапсів (зв'язків) мережі з: фіксованими зв'язками (вагові коефіцієнти нейронної мережі обираються відразу, виходячи з умов задачі); динамічними зв'язками (в процесі навчання відбувається настройка зв'язків між нейронами);
- часом передачі сигналу – синхронні та асинхронні мережі;
- характером зв'язків (рис. 1.13).



Рис. 1.13. Класифікація нейронних мереж за характером зв'язків

Нейронні мережі мають низку унікальних властивостей, які роблять їх потужним інструментом для створення систем керування динамічними об'єктами [1, 19]: здатністю до навчання на прикладах і узагальнення даних; придатністю для синтезу нелінійних регуляторів; високою стійкістю до пошкоджень своїх елементів в силу закладеної архітектури паралелізму. Основними *перевагами* нейронних мереж перед традиційними обчислювальними методами є [1, 16]:

- рішення задач в умовах невизначеності (з неповними даними);
- стійкість до шумів у вхідних даних (фільтрація без попереднього аналізу вхідних даних);

- гнучкість структури (нейрони і зв'язки можна комбінувати);
- висока швидкодія (паралельна обробка даних);
- адаптація до змін навколишнього середовища (перенавчання в нестационарному середовищі);
- відмово-стійкість (розподілене зберігання інформації).

До *недоліків* нейронних мереж, що обмежують їх застосування, слід віднести:

- отримання завжди приблизної відповіді;
- нездатність прийняття рішень в кілька етапів;
- нездатність вирішувати обчислювальні завдання;
- трудомісткість і тривалість навчання.

Контрольні запитання

1. Визначте поняття мехатронна система.
2. Назвіть складові апаратної і процедурної структури МС.
3. За якими загальними ознаками класифікують системи керування АТЗ?
4. За якою ознакою автоматизовані системи керування відрізняються від автоматичних?
5. Наведіть приклади вихідних параметрів систем керування, що підлягають оптимізації.
6. В чому полягає перевага гнучких систем керування зі зворотним зв'язком в порівнянні з жорсткими?
7. В чому полягає перевага мікропроцесорних систем керування в порівнянні з електромеханічними та аналоговими електронними?
8. Яка інформація міститься в лінгвістичній моделі системи керування?
9. Назвіть варіанти композицій систем керування та поясніть їх відмінність.
10. Назвіть класифікаційні ознаки датчиків.
11. Назвіть класифікаційні ознаки виконавчих пристроїв.
12. Наведіть приклади виконавчих пристроїв систем керування, дистанційного та безпосереднього підключення.
13. Які основні функціональні блоки входять до складу ЕБК?
14. Яка інформація зберігається в різних типах запам'ятовуючих пристроїв ЕБК?
15. Які схеми узгодження та апаратних драйверів використовуються для периферійних пристроїв ЕБК.
16. Яким чином реалізуються інформаційні зв'язки у системах керування комбінованої структури?
17. На яких режимах реалізуються CAN інтерфейси?
18. Назвіть переваги застосування CAN зв'язку між функціональними блоками систем керування комбінованої структури.
19. Як форматується інформаційний кадр по лінії CAN зв'язку?

20. Яким чином реалізується система моніторингу в автомобільних системах керування?

21. Які методи використовуються для реалізації оптимального керування об'єктом?

22. Як реалізуються алгоритми керування в термінах фазі-логіки?

23. Яким чином формуються характеристичні карти систем керування за наперед визначеними показниками?

24. Як реалізується процес адаптації керуючих впливів мехатронної системи з застосуванням характеристичних карт?

25. Поясніть застосування ШІМ і ЧІМ регуляторів для керування виконавчими пристроями.

26. Поясніть застосування ПІД регуляторів для поліпшення динамічних якостей об'єктів керування автомобільних систем.

27. Визначте поняття, структуру та особливості ШНМ.

28. Які завдання вирішуються за допомогою ШНМ?

29. За якими ознаками класифікують ШНМ?

30. Назвіть переваги та недоліки штучних нейронних мереж перед традиційними обчислювальними методами.

2. Мехатронні системи бензинових ДВЗ

2.1. Класифікація і моделі систем

В системі приводу автомобіля, ДВЗ розглядається, як об'єкт керування, і в сукупності з електронною системою керування являє мехатронну систему, яка функціонує в напівавтоматичному режимі під контролем водія (рис. 2.1).

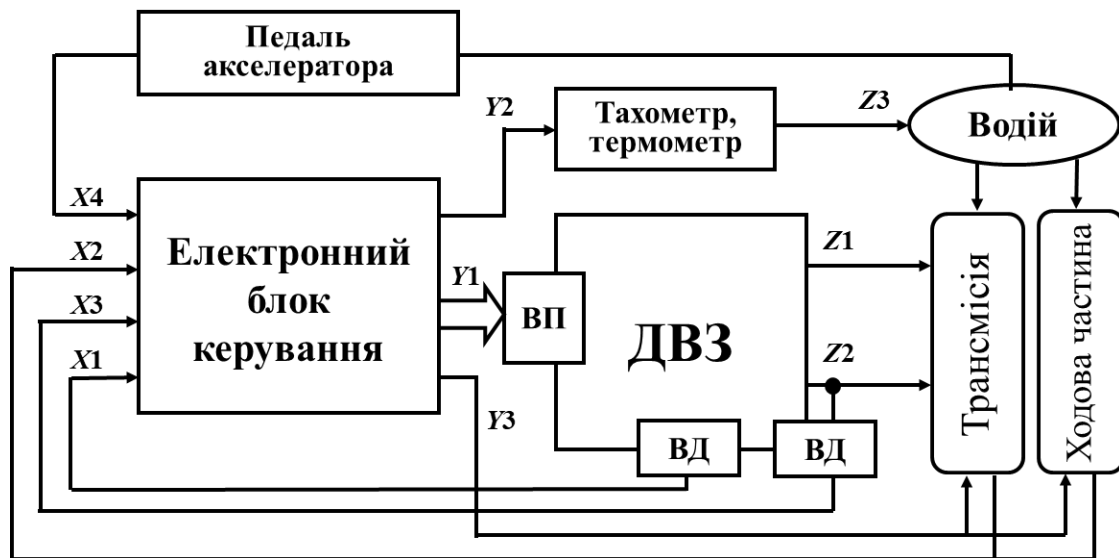


Рис. 1.21. Узагальнена модель мехатронної системи ДВЗ у форматі «Автомобіль-водій-дорога»

Вхідні сигнали системи керування надходять з датчиків:

- структурних режимних параметрів двигуна X1;
- інших мехатронних систем автомобіля X2;
- вихідних параметрів двигуна (вихлопу, детонації), що утворюють зворотний зв'язок адаптивних систем X3;
- органів напівавтоматичного керування X4.

Вихідні сигнали системи керування ДВЗ надходять на виконавчі пристрої Y1 і засоби контролю Y2, а також використовується для суміжних систем керування комбінованої структури Y3.

Електричні системи керування ДВЗ призначені для реалізації алгоритмів, які оптимізують керуючі впливи на механічні системи агрегати і вузли ДВЗ в автоматичному і напівавтоматичному режимах. Процес оптимізації відбувається на основі аналізу режимних параметрів ДВЗ (частоти обертання, навантаження, температурного стану), які змінюються під час руху АТЗ. Цільовими функціями (критеріями)

оптимізації структурних параметрів ДВЗ є поліпшення його вихідних (робочих) характеристик – підвищення ефективної потужності на колінчастому валі при мінімальних витратах палива з мінімальними викидами токсичних речовин в навколишнє середовище.

Системи керування ДВЗ як і будь-які системи керування АТЗ можна класифікувати за чотирма основними ознаками: призначенням або об'єкту (системи) керування; гнучкості реалізації алгоритму, який оптимізує; архітектурної композиції; способу реалізації системи. За першою ознакою можна виділити системи керування, які використовуються на бензинових ДВЗ (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Класифікація систем керування ДВЗ за загальними ознаками

У системах керування ДВЗ розглядаються індикаторні параметри, які надходять з датчиків, які характеризують поточний режим двигуна: частоти обертання колінчастого валу (ДПКВ), положення дросельної заслінки (ДЗ) або масової витрати повітря (ДМВП), температури охолоджуючої рідини (ДТОР). Використовуючи прийняті позначення (див. рис. 2.1), можна скласти таблицю лінгвістичних моделей для окремих функціональних систем ДВЗ (табл. 2.1).

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

Таблиця 2.1.

Лінгвістичні моделі функціональних систем керування ДВЗ

Об'єкт (система) керування	Інформаційні сигнали X_i	Сигнали керування $Y_j=f(X_i)$	Параметри оптимізації $Z_k=F(Y_j)$
Запалюван- ням	-положення КВ, -частота обер- тання, -навантаження ДВЗ, -температура ДВЗ.	-нормуванням енергії іскри, -моментом запалювання, -алгоритмом подачі іскри по циліндрах.	-мінімізація токсичності ВГ, - мінімізація витрати палива, -підвищення потужності ДВЗ.
Вприскуван- ням палива	-положення КВ, -частота обер- тання, -витрата повітря, -температура ДВЗ, -положення ДЗ.	-регулятором ХХ, -продуктивністю паливних форсунок, -фазою уприскування, -алгоритмом уприскування.	- мінімізація обертів ХХ, -мінімізація токсичності ВГ, - мінімізація витрати палива, -підвищення потужності ДВЗ.
Впуском пові- тря	-навантаження ДВЗ, -частота обер- тання.	-регулятором ХХ -турбокомпресором.	-підвищення потужності ДВЗ.
Ступенем стискання	-частота обер- тання, -навантаження ДВЗ, -температура ДВЗ.	-приводом підйому головки циліндрів ДВЗ.	-підвищення потужності ДВЗ.
Газорозподі- лом	-положення КВ, -частота обер- тання, -температура ДВЗ, -навантаження ДВЗ.	-фазою відкриття, -часом відчиненого стану, - продуктивністю, -алгоритмом функціонування.	-мінімізація токсичності ВГ, - мінімізація витрати палива, -підвищення потужності ДВЗ.
Подачею палива	-частота обер- тання КВ.	-вмиканням паливного насоса.	- мінімізація витрати палива,.

Охолодженням	-температура ДВЗ, -частота обертання, -швидкість руху, -температура ОР, -навантаження ДВЗ.	- вмиканням вентилятора охолодження.	- мінімізація витрати палива, -підвищення потужності ДВЗ.
Рециркуляцією відпрацьованих газів	-якість згоряння, -частота обертання, -температура ДВЗ, -навантаження ДВЗ.	-клапаном перепуску ВГ.	-мінімізація токсичності ВГ
Полегшенням пуску двигуна	-температура ДВЗ, -температура повітря, -температура палива, -частота обертання.	-підігрівачами паливної суміші.	- мінімізація витрати палива, -зниження експлуатаційних витрат.
Утилізацією випарів бензину	-температура ДВЗ, -якість згоряння, -швидкість руху -навантаження ДВЗ.	-клапаном додаткової подачі палива.	- підвищення екологічності автомобіля, - мінімізація витрати палива,

Функціональні системи керування реалізують за різними технічними рішеннями [20]. До основних функціональних систем, які складають комплексну систему керування ДВЗ можна віднести системи керування запаленням і уприскуванням палива, охолодженням двигуна і подачею повітря на холостому ходу (рис. 2.3).

У апаратну структуру систем керування входять датчики відповідних інформаційних сигналів:

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

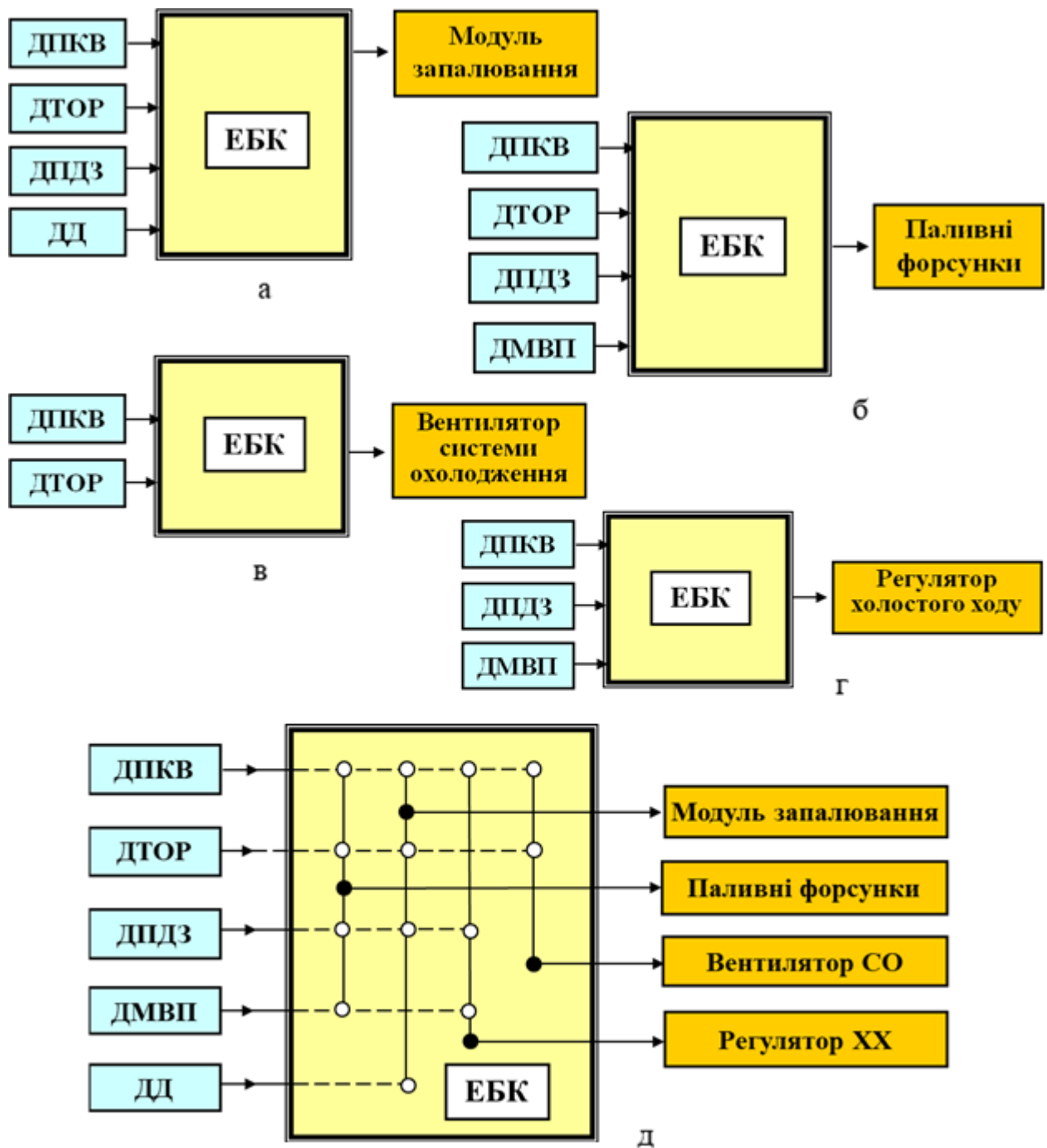


Рис. 2.3. Композиції систем керування ДВЗ:
а...г – функціональної структури; д – комплексної структури

Як показує рис. 2.3, побудова комплексних (багатоканальних) систем, дозволяє мінімізувати перелік датчиків і реалізувати алгоритми керування в єдиному електронному блоці (Mono Electronic).

У комбінованих системах реалізуються алгоритми оптимального керування відразу декількома об'єктами (агрегатами, системами). У перелік комбінованих систем керування АТЗ можна віднести цифрові

системи, побудовані на базі комплексних систем керування двигуном (DME – Digital Motor Electronic), в яких реалізуються додаткові функції керування автомобілем: ASC (курсової стабільності), MSR (тяговим моментом ДВЗ), EML (потужністю ДВЗ). Така комбінована система забезпечує задану водієм (бажану) потужність ДВЗ з припустимих режимом руху автомобіля. Наприклад, розглянемо систему DME-M (DME-Motronic), що застосована на автомобілі BMW моделі M-70 з дворядним 12-ти циліндровим ДВЗ (рис. 2.4).

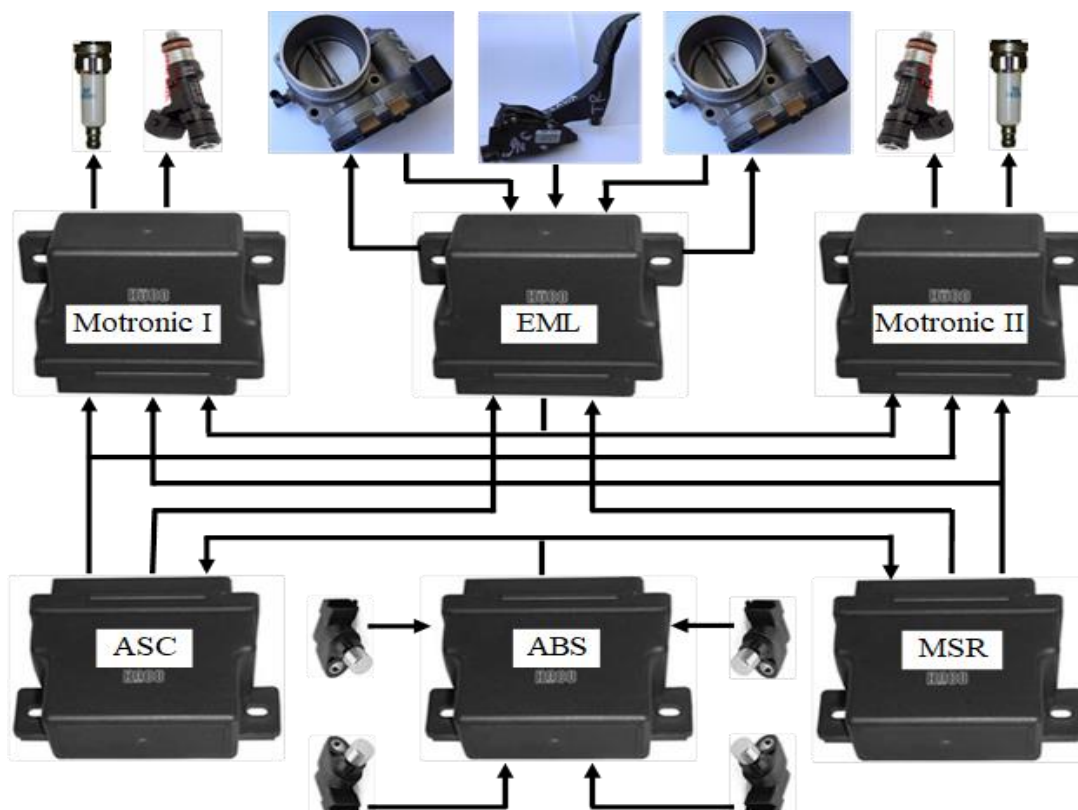


Рис. 2.4. Структура комбінованої системи керування ДВЗ

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

Система керування дросельними заслінками EML (Elektronische Motor Leistungsregelung) забезпечує координоване керування двома системами Motronic в частині синхронізації положення обох заслінок,

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

Комплексна система керування ДВЗ Motronic забезпечує оптимальні параметри вприскування палива (момент і тривалість спрацьовування форсунок) і запалювання (момент і енергію іскрового розряду) паливної суміші по циліндрах ДВЗ.

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

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

З позицій інформаційних зв'язків в комбінованих системах архітектурна композиція систем керування надається у вигляді топологічних схем. При цьому, для організації каналів зв'язку застосовуються

інформаційні інтерфейси, які поділяють на звичайні незалежні і послідовні CAN інтерфейси (Controller Area Network).

Для демонстрації апаратної переваги зазначеного способу обміну інформацією, застосуємо в структурі системи (див. рис. 2.4) CAN-зв'язок між окремими ЕБК (рис. 2.5).

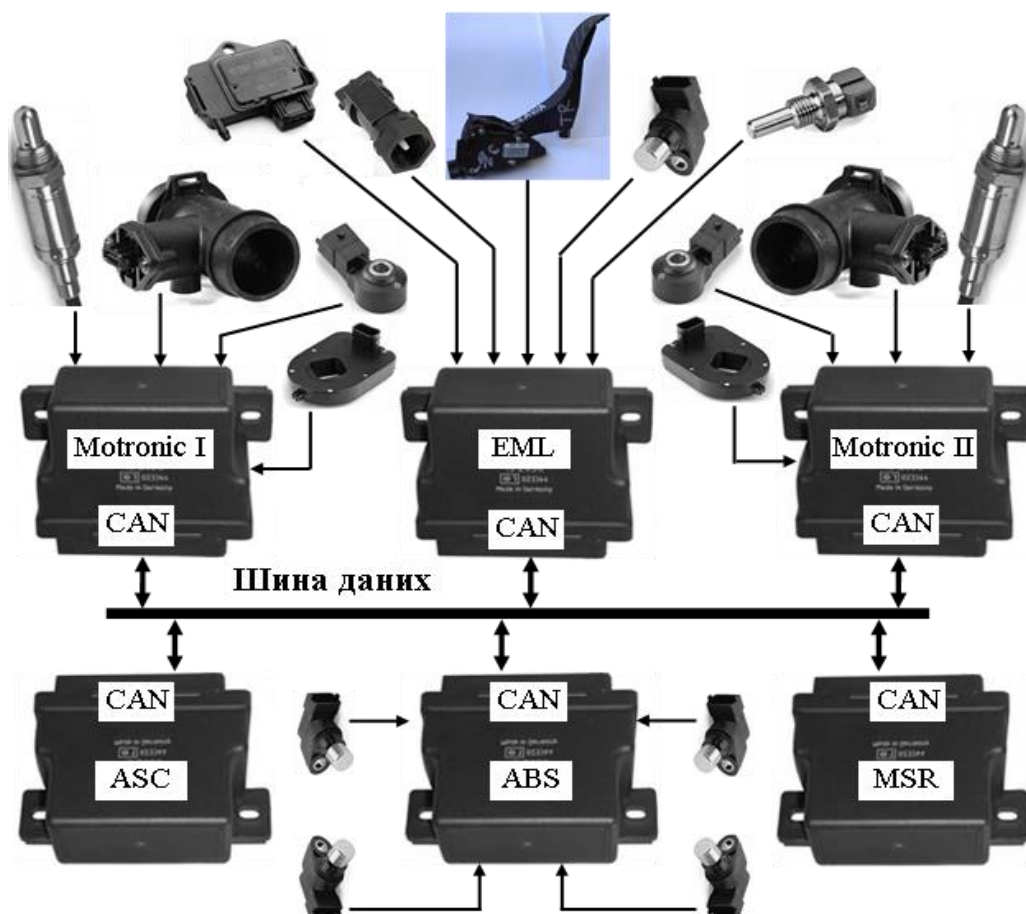


Рис. 2.5. Структура комбінованої системи керування з використанням CAN-лінії зв'язку

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

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

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

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

Електронні системи реалізують функції автоматичного і напівавтоматичного керування на аналоговому, цифровому або мікропроцесорному рівні із застосуванням засобів комутації, виконавчих пристроїв і датчиків. Перевагою *мікропроцесорних систем* є універсальність їх побудови (алгоритмів функціонування) і застосування запам'ятовуючих пристроїв для зберігання калібрувальної інформації.

2.2. Характеристика датчиків і виконавчих пристроїв

Приклади конструкцій основних датчиків електронних систем керування (ЕСК) двигунами [1, 4, 21] наведено на рис. 2.6.

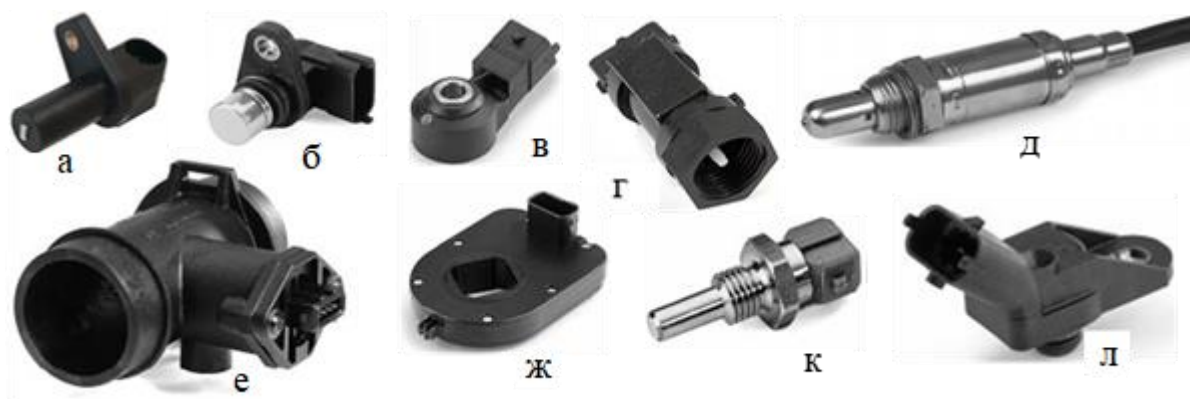


Рис. 2.6. Датчики систем керування ДВЗ:

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

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

Датчик положення колінчастого валу ДПКВ (рис. 2.6, а) індукційного типу (активний), інкриментного вимірювання, активізується за рахунок обертання зубчастого вимірювального диска поєднаного з КВ (рис. 2.7, а).

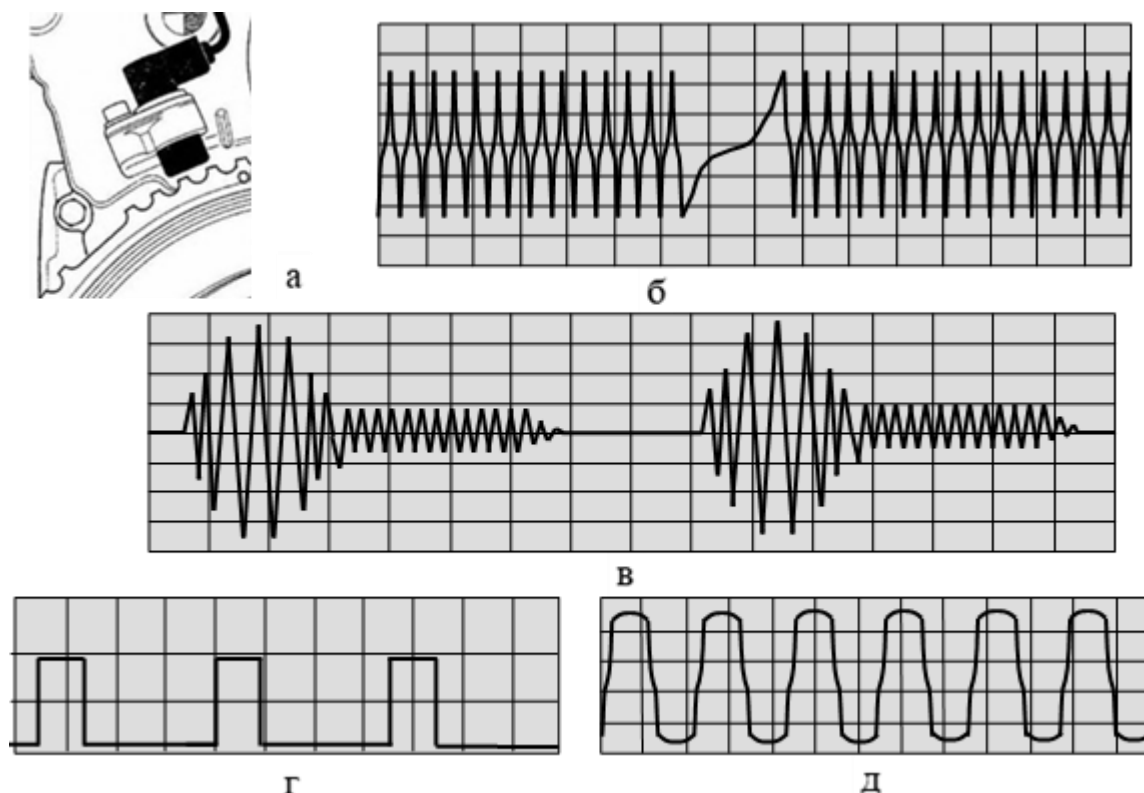


Рис. 2.7. Формування сигналів датчиків:

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

Датчик встановлено на відстані $\Delta=1\pm0,2$ мм від зубців диска. Зубчастий поділ складає шість градусів (60 зубців), два зубці відсутні. Така конструкція диска дозволяє отримати на виході датчика 58 імпульсів знакозмінної напруги на один оберт колінчастого валу (сигнал кутового положення) та зареєструвати подвійний період сигналу при проходженні зони диска з відсутніми зубцями (рис. 2.7, б).

Отриманий синхронізуючий сигнал початку відліку збігається з положенням поршня у ВМТ. Таким чином, сигнал ДПКВ несе інформацію про частоту обертання КВ, його кутове положення (позицію по-

ршнів) та момент проходження поршнем першого циліндра ВМТ. Частота і амплітуда імпульсів сигналу датчика пропорційні частоті обертання КВ і кількості зубців вимірювального диску та в швидкісному діапазоні двигуна дорівнюють певних значень. У деяких системах керування в якості ДПКВ застосовуються оптичні (фотоелектричні) датчики або датчики на базі цифрових мікросхем Холла.

Датчик положення розподільного валу ДПРВ (рис. 2.6, б) побудований на базі цифрової мікросхеми Холла з відчиненим колектором на виході. Призначений для ідентифікації першого циліндра (відрізнити ВМТ парних циліндрів) в системах керування з індивідуальними котушками запалювання або фазованими форсунками впорскування палива ДВЗ. Датчик встановлений поблизу випускного розподільного валу, на шківі якого, закріплена магнітна пластина, що активізує датчик. На датчик подається напруга живлення $U_d = 5 \dots 18$ В та знімається цифровий вихідний сигнал двох рівнів $U_c = 4,9/0,1$ В. Ансамблі датчиків ДПКВ і ДПРВ фазовані таким чином, що наявність імпульсу ДПРВ під час проходження синхронізуючого сигналу ДПКВ, відповідає ВМТ першого циліндра, а його відсутність – ВМТ парного (четвертого) циліндру.

Датчик детонації ДД (рис. 2.6, в) п'єзоелектричний (активний), встановлений у верхній частині блоку циліндрів бензинового ДВЗ. При вібраціях двигуна датчик генерує сигнал (рис. 2.7, в), рівень напруги якого підвищується під час детонаційних процесів. Амплітудні значення напруги сигналу не перевищують $U_c < 10$ В при детонаційних процесах і становлять не менш як $U_c > 1$ В при їх відсутності.

Датчик швидкості руху автомобіля ДША (рис. 2.6, г) роторної конструкції, побудований на базі цифрової мікросхеми Холла (ансамбль Холла). Статор датчика встановлений на штуцері коробки передач, а ротор, – з'єднаний із тросиком приводу спідометра. На датчик подається стабілізована напруга $U_d = 5$ В та знімається цифровий вихідний сигнал, який параметрується цифровими значеннями амплітуди $U_c = 4,9$ В і шпаруватості імпульсів (рис. 2.7, г). Частота надходження імпульсів сигналу датчика пропорційна швидкості обертання ведучих коліс.

Датчик концентрації кисню ДКК (рис. 2.6, д) електрохімічного принципу дії (активний) застосовується у системах упорскування зі зворотним зв'язком по надлишку повітря у паливній суміші. Встанов-

люється на приймальній трубі глушника, може мати вмонтований підігрівач для активізації електрохімічної реакції. Сигнал датчика параметрується рівнем напруги на його виході, який залежить від значення парціального тиску кисню у відпрацьованих газах. Коли ДВЗ працює на збагаченій суміші ($\alpha < 1$), на виході датчика утворюється постійна напруга високого рівня $U_c = 0,7 \dots 1,0$ В. При переході на збіднену суміш ($\alpha > 1$), коли парціальний тиск кисню підвищується, вихідна напруга датчика значно зменшується до рівня $U_c = 0,05 \dots 0,1$ В. Така різка зміна рівня напруги (рис. 2.7, д) дозволяє реєструвати стехіометричний склад паливної суміші (періодичний сигнал). У різних системах керування можуть застосовуватися датчики кисню хіміко-резистивного або термоелектричного принципу дії на базі цирконієвих або титанових перетворювачів, які зовні різняться за кількістю виводів.

Датчик масової витрати повітря ДМВП (рис. 2.6, е) термоанемометричний (пасивний), з аналоговим вихідним сигналом. Розташований між повітряним фільтром і шлангом впускної труби. Датчик містить терморезистори і нагрівальний елемент, які утворюють вимірювальний міст. Напруга розбалансу моста при збільшенні витрати повітря підсилюється електронікою (мехатронна структура). До датчика підключається стабілізована напруга $U_d = 5,0$ (живлення вимірювальної частини датчика) и напруга бортової мережі $U_b = 10,2 \dots 14,6$ В (для живлення нагрівача). Рівень напруги сигналу датчика змінюється пропорційно витратам повітря.

В системах Motronic можуть застосовуватися термоанемометричні масметри з платиновим чутливим елементом, які формують аналоговий або частотно-імпульсний (цифрований частотно-модульований FM) вихідний сигнал. В менш досконалих системах керування замість масметрів використовуються потенціометричні витратоміри повітря з повітряною заслінкою або електродинамічні (тахометричні) витратоміри лопатного (турбінного) типу. В перспективних системах застосовуються вихрові інфрачервоні масметри повітря.

Датчик положення дросельної заслінки ДПДЗ (рис. 2.6, ж) потенціометричний поворотного типу, встановлений збоку на дросельному патрубку, механічно пов'язаний з віссю дросельної заслінки. Датчик підключається до стабілізованої напруги $U_d = 5$ В. Напруга сигналу пропорційна куту повороту ДЗ становить $U_c = 0,3 \dots 4,6$ В. Граничні значення напруги відповідають зачиненому (0% відкриття) і пов-

ністю відчиненому (100% відкриття) стану дросельної заслінки. В деяких системах керування ДВЗ застосовуються датчики оптоелектронного типу з кодуючим диском. Аналогічний датчик використовується в системах з електронним керуванням газу для реєстрації положення педалі акселератора. Граничні значення напруги відповідають нажатому та відпущеному положенню педалі.

Датчик температури охолоджуючої рідини ДТОР (рис. 2.6, з) виконаний на базі термістора з негативним температурним коефіцієнтом опору. Встановлений у випускному патрубку на голівці циліндрів. Живлення датчика здійснюється від стабілізатора напруги $U_d=5$ В через обмежуючий резистор. Опір датчика є вимірювальним плечем дільника напруги, на якому формується напруга вихідного сигналу $U_c=0,7...4,9$ В залежно від температури двигуна.

Датчик розрідження у впускному колекторі ДРПІК (рис. 2.6, и) з п'єзореzystивним чутливим елементом і електронним перетворювачем сигналу (мехатронного типу). Встановлений за дроселем, визначає бажане навантаження ДВЗ. Пасивний датчик живиться стабілізованою напругою $U_d=5$ В, а на виході забезпечує пропорційний сигнал в діапазоні $U_c=0,5...4,5$ В, на підставі якого розраховується оптимальний склад паливної суміші (альтернатива ДМВП).

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

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

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

У сучасних системах керування запалюванням застосовуються котушки (КСЗ), що забезпечують статичний розподіл високої напруги по свічках циліндрів (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Різновиди конструкцій котушок запалювання:

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

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

Рампи КСЗ дозволяють реалізовувати обидва варіанти керування запалюванням і забезпечити рідинне охолодження обмоток трансформатора. На відзнаку від перших двох варіантів, в останніх двох не використовуються високовольні проводи (низький рівень електромагнітних перешкод). Під модулем запалювання, на відзнаку від КСЗ, для варіантів (рис. 2.8, б, в, г) розуміють наявність в конструкції моноблоку транзисторних ключів (переривників). В таких модулях, окрім напруги живлення первинної обмотки $U_{\text{ж}}=12\text{ В}$ підводяться сигнали (імпульси) керування виконавчими транзисторами $U_{\text{с}}=5\text{ В}$.

Паливні форсунки (ПФ) бензинових ДВЗ призначені для дозування подачі та розпилу палива в циліндрах ДВЗ. Являють електромагнітні клапани з голчастим запірним пристроєм в паливній магістралі. Форсунки мають зовнішні конструктивні відмінності, які визначаються типом системи впорскування (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Вигляд паливних форсунок різних систем впорскування:

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

У центральних ПФ, завищений діаметр корпусу (рис. 2.9, а), необхідний для зберігання постійного запасу бензину під час його розпилу по всім циліндрам на режимах значних навантажень двигуна. Бензин надходить та зливається в магістраль через бокові отвори. В системах багатоточкового впорскування, на відзнаку від центрального, цей об'єм утримується в рампі форсунок та розподіляється по ПФ кожного циліндра, а паливо підводиться до штуцера на верхньому торці корпусу (рис. 2.9, б). Для реалізації систем з безпосереднім упорскуванням бензину у циліндри ДВЗ, потрібен подовжений хвостовик сопла (рис. 2.9, в). Конструкція газової ПФ характеризується укороченою довжиною корпусу та малим діаметром хвостовика (рис. 2.9, г). Більшість форсунок ГБО встановлюються пакетами та мають характерні отвори в нижній частині корпусу для подачі газу в форсунку. Керування всіх типів ПФ здійснюється шляхом комутації струму в їх обмотках за допомогою ключових драйверів за схемою «вільного» колектору (відключення масового проводу) під напругою живлення бортової мережі $U_{\text{ж}}=12\text{ В}$.

Регулятори холостого ходу (РХХ) призначені для корекції перетину байпасного каналу подачі повітря на режимах холостого ходу ДВЗ. Дозволяють компенсувати втрати потужності і підтримувати мінімальні оберти двигуна при зачиненому дроселі. В ЕСК використовуються РХХ різної будови та принципу дії (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Різновиди конструкцій регуляторів холостого ходу:

а – електро-термобіметалевий; б, в – електроклапанний;
г – з кроковим електродвигуном

В біметалевих РХХ, деформація чутливої пластини під дією температури спричиняє перекриття каналу подачі повітря. Ступінь пере-

криття визначається температурою двигуна і нагрівальної спіралі (електричне керування). В РХХ другого типу подвійний клапан активізується електромагнітом дискретної дії.

Плавність регулювання подачі повітря, в перших двох типах РХХ, досягається за рахунок широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) струму керуючого сигналу (спіралі, обмотки) під напругою живлення бортової мережі $U_{\text{ж}}=12$ В. Третє покоління РХХ, являє електродвигун з мікро-ліфтовим (гвинтовим) редуктором приводу запірного конуса. Активізація крокового двигуна здійснюється різнополярними імпульсами струму через його обмотки під дією стабілізованої напруги $U_{\text{ж}}=5$ В.

Послідовність і полярність керуючих імпульсів формується за допомогою спеціального драйвера (подвійного інвертора). Точність позиціонування таких РХХ визначається кількістю кроків на робочому зазорі запірного вузлу.

Електроклапани (ЕК) різного призначення мають однаковий принцип дії (електромагнітний) але різняться за напругою живлення, конструкцією запірного вузлу, параметрами обмотки (ампер-витками) та зовнішнім оформленням (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Електроклапани різного призначення:

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

Клапани, що працюють в періодичному режимі під ШІМ-керуванням (рис. 2.11, а), мають більший струм споживання та меншу кількість витків обмотки, а клапани випадкового спрацьовування – навпаки. Живлення клапанів підключається аналогічно ПФ.

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

2.3. Способи реалізації керуючих впливів

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

Система керування впуском повітря здійснює оптимальну подачу повітря для утворення робочої суміші на різних режимах ДВЗ. На холостому ходу оберти ДВЗ підтримуються за рахунок подачі повітря через канал в обхід закритої дросельної заслінки (ДЗ), так званий байпасний канал, або через щілину, утворену ДЗ. У механічних системах, мінімальні оберти двигуна фіксовано встановлюються за допомогою гвинтів регулювання пропуску повітря 1 або початкової установки положення ДЗ 2 (рис. 2.12, а).

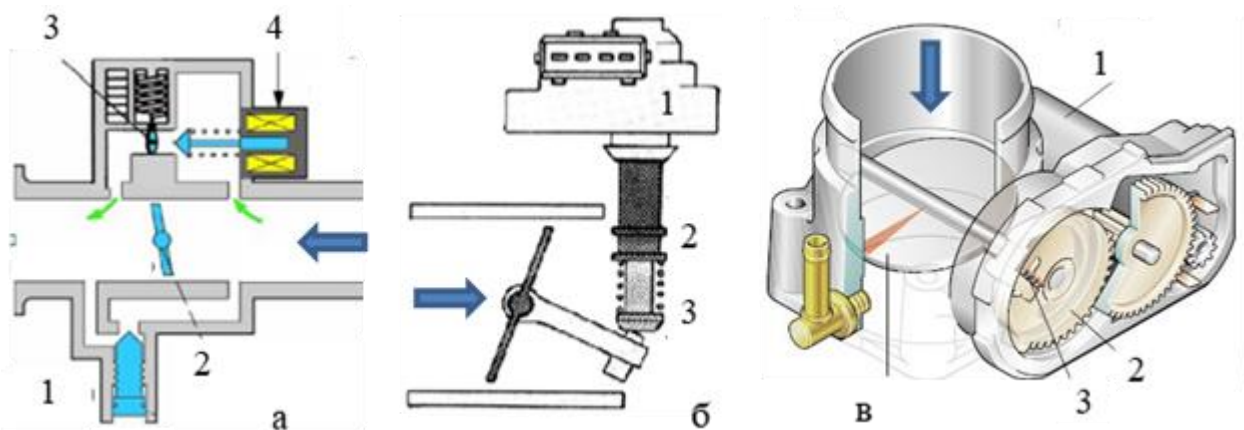


Рис. 2.12. Реалізація систем впуску повітря на холостому ходу:

а – з байпасним каналом; б – з корекцією положення ДЗ;

в – з керуванням положення ДЗ

Оптимальна витрата повітря на холостому ходу залежить від температурного стану і механічних втрат ДВЗ. Для температурного коригування обертів холостого ходу використовуються термобіметалеві регулятори пропуску повітря безперервної дії 3. У сучасних системах для реалізації керуючих впливів використовується електропривод (зазвичай на базі крокового двигуна) запірного конуса в байпасному каналі 4 або електропривод самої ДЗ, який позиціонує її початковий (частково відкритий) стан. У першому випадку (рис. 2.12, б), електропривод ДЗ складається з електродвигуна 1, гвинтового редуктору 2 та штоку 3, який змінює положення заслінки по командам з ЕБК тільки в секторі ХХ, коли педаль акселератора відпущена. При цьому, в зоні робочих навантажень керування положенням заслінки здійснюється

механічним способом через трос Боудена. У другому випадку, (рис. 2.12, в), в електроприводі використовується моментний електродвигун 1 з зубчастим редуктором 2, який змінює положення ДЗ в усьому діапазоні навантажень ДВЗ, включаючи і сектор ХХ. При цьому, керування електроприводом здійснюється через електронну педаль акселератора, а для контролю положення заслінки використовуються датчики зворотного зв'язку 3 різного принципу будови (аналогові резистивні, інкрементні магнітоелектричні).

В інжекторних ДВЗ з безпосереднім вприскуванням бензину в циліндри (типу GDI – Gasoline Direct Injection) використовується система впускних повітряних заслінок [22] (рис. 2.13).

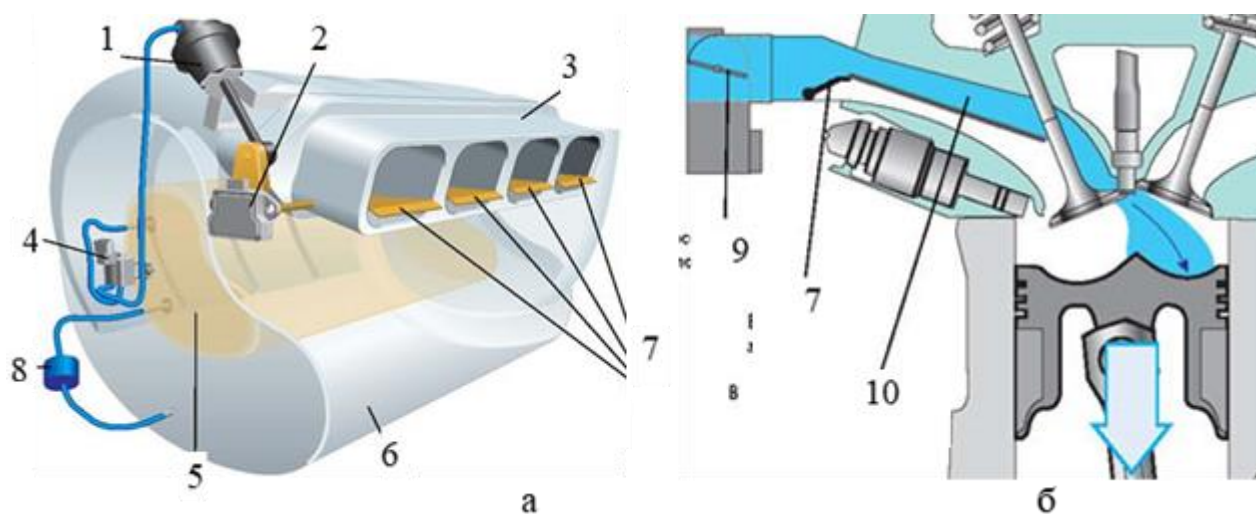


Рис. 2.13. Реалізація впуску повітря з повітряними заслінками:
а – конструкція системи; б – формування потоків повітря при сумішоутворенні

На рис. 2.13 позначено позиції: 1 – вакуумний привід, 2 – датчик положення впускних заслінок; 3 – нижня частина впускної системи; 4 – клапан керування приводом заслінок; 5 – вакуумний ресивер; 6 – верхня частина впускної системи; впускні заслінки; 8 – зворотний клапан; 9 – дросельна заслінка; 10 – верхній впускний канал.

При роботі двигуна на пошаровій і бідних гомогенних сумішах, а також на деяких режимах з використанням гомогенних сумішей стехіометричного складу, заслінки перекривають нижні частини впускних каналів, розташованих в головці циліндрів (рис. 2.13, б). При цьому, повітря проходить в циліндри тільки через верхні частини впускних каналів. Форма верхньої частини впускного каналу підібрана таким чином, щоб повітря закручувалося на вході в циліндр. Крім цього,

підвищена швидкість проходження через звужений канал повітря сприяє сумішоутворенню. При цьому, реалізуються дві переваги:

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

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

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

Таким чином, на відміну від двигунів з зовнішнім сумішоутворенням, двигуни з безпосереднім вприскуванням мають більш складну систему впускного тракту (рис. 2.14).

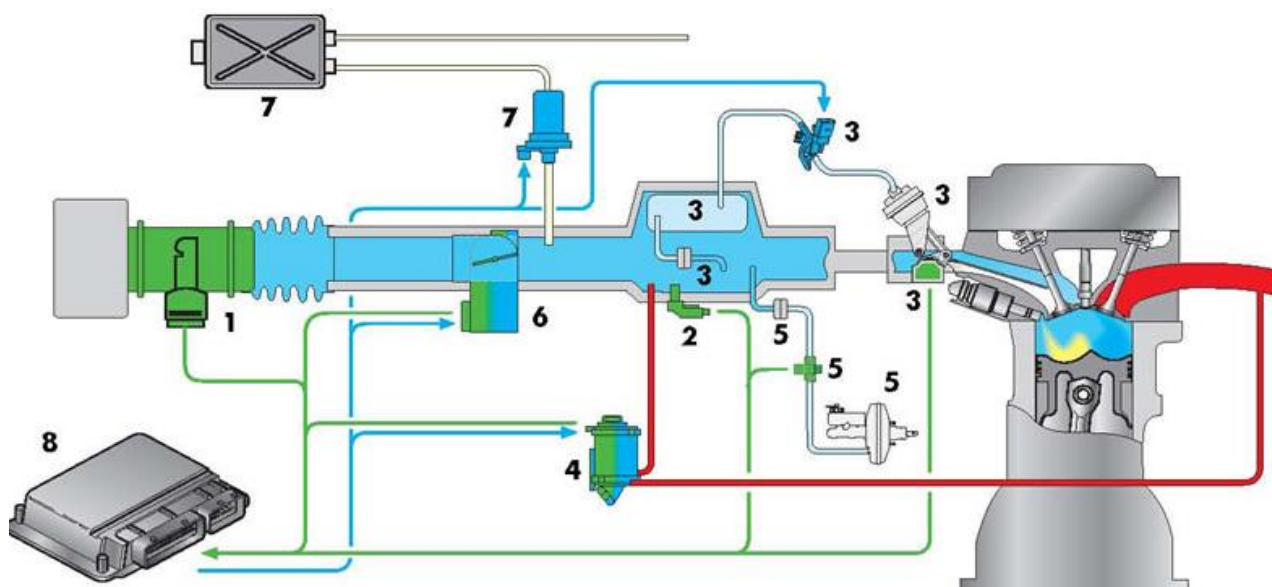


Рис. 2.14. Система впуску повітря двигуна MED 7:

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

На двигунах BMW N52 застосована аналогічна система керування повітряними потоками з використанням ефектів резонансних явищ. У таких системах, після дросельної заслінки 1 застосовують

одну або дві повітряні заслінки 2, 3 з пневмоелектричним або електро-механічним приводом, які забезпечують дві або три ступеня подачі повітря (рис. 2.15).

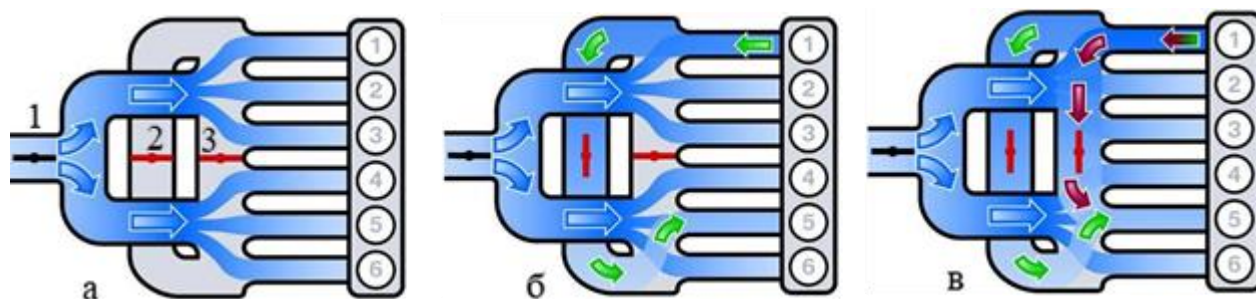


Рис. 2.15. Резонансна триступенева система впуску повітря DISA:

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

в – на швидкісних режимах ДВЗ

При цьому, відбиття повітря від закритих клапанів ГРМ, сприймається як ефект турбонадування під клапани, які відкриті. На деяких ДВЗ застосовуються системи подачі повітря зі змінною геометрією впускного колектору VIS (Variable Induction System). При цьому, також застосовується одна або дві повітряні заслінки, керовані електричними приводами, які, залежно від обраного режиму роботи ДВЗ, утворюють трубопровід відповідної довжини.

В інжекторних ДВЗ система подачі палива включає елементи паливного тракту, починаючи з паливного насоса, що занурюється у бак і закінчуючи рампою паливних форсунок (рис. 2.16).

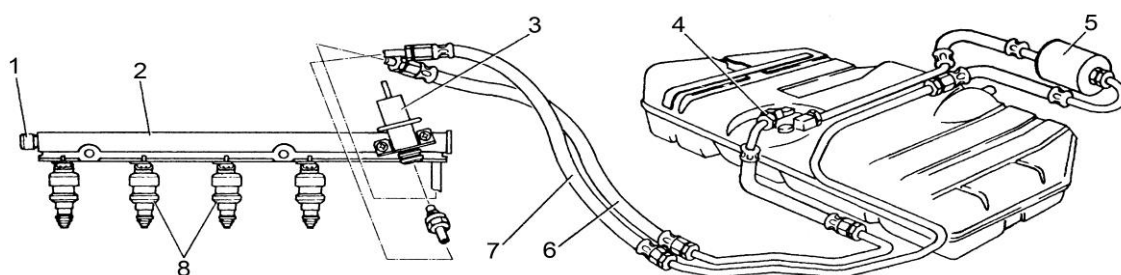


Рис. 2.16. Система подачі палива інжекторних ДВЗ:

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

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

Система впорскування палива відповідає за якість (склад) паливної суміші, підтримуючи на стаціонарних режимах ДВЗ її оптимальне (стехіометричне) співвідношення паливо/повітря 1/14,7 (коефіцієнт надлишку повітря $\lambda=1$) при якому повністю згоряє паливо. Системи впорскування палива бензинових ДВЗ класифікують за кількома загальними ознаками (рис. 2.17).

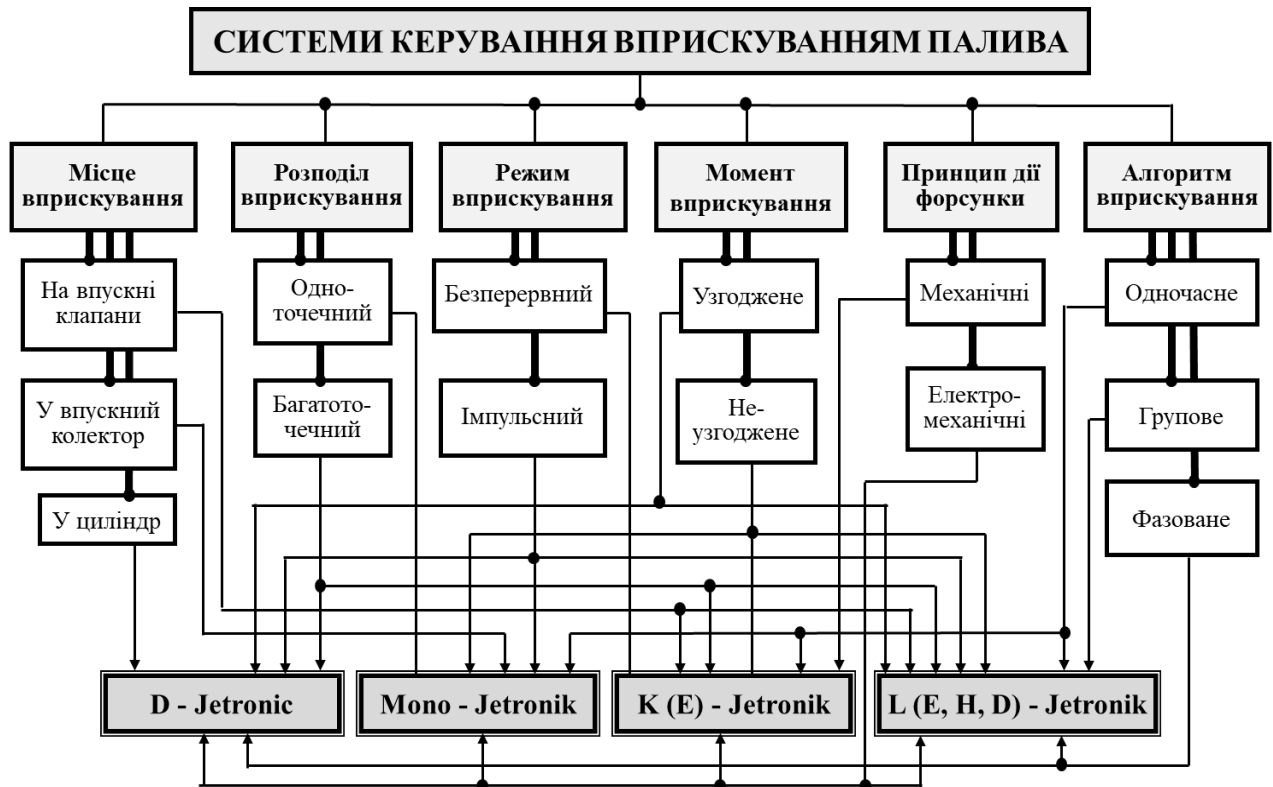


Рис. 2.17. Класифікація систем впорскування палива

Визначальною ознакою в назві електронних систем впорскування є місце куди саме впорскується паливо (рис. 2.18).

Система запалювання забезпечує якість спалаху паливної суміші і ефективність перетворення хімічної енергії палива в теплову енергію спалаху. У цій системі оптимізації підлягають два параметри – енергія іскрового розряду і момент запалювання. Визначальною ознакою в назві сучасних електронних систем запалювання є спосіб розподілу вторинної напруги по свічках циліндрів (рис. 2.19).

Варіанти систем (рис. 2.19, б...е) здійснюють статичний розподіл іскри, з них (рис. 2.19, б...г) реалізують системи запалювання з так званою «холостою іскрою».

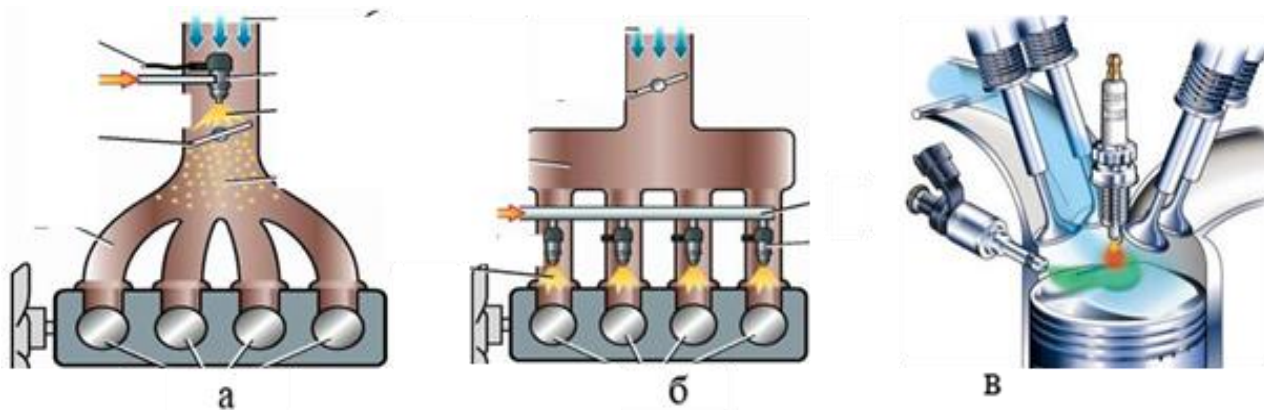


Рис. 2.18. Реалізація впорскування палива в системах:
а – Mono-Jetronic; б – L-Jetronic; в – D-Jetronic

Слід зазначити, що в сучасних системах запалювання застосовується датчик детонації, який забезпечує зворотний зв'язок системи для усунення детонаційних процесів, які можуть відбуватися в двигуні при деяких обставинах і умовах.

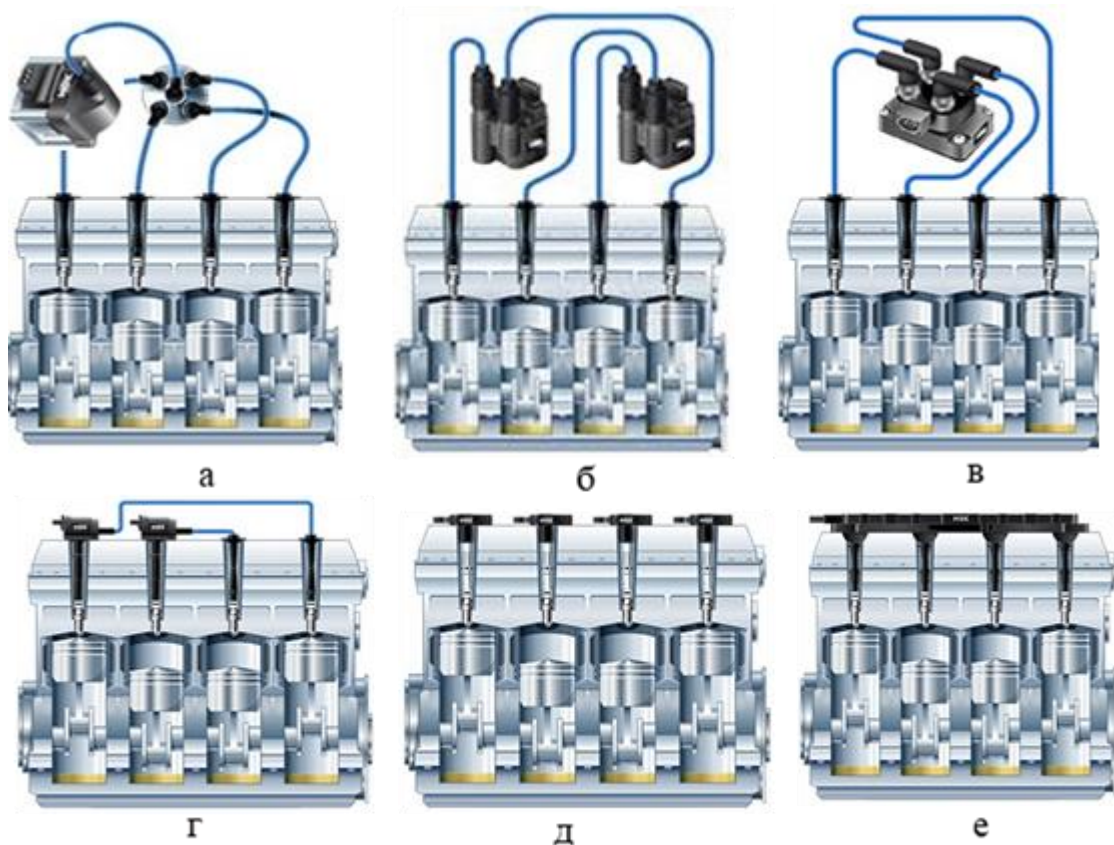


Рис. 2.19. Способи розподілу запалювання по циліндрах:
а – з роторним розподільником; б – з двовивідними котушками; в – з модулем запалювання; д – з парними котушками; г – з індивідуальними котушками; е – з рампою котушок запалювання

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

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

Системи керування ГРМ розрізняють за загальними класифікаційними ознаками (рис. 2.20).

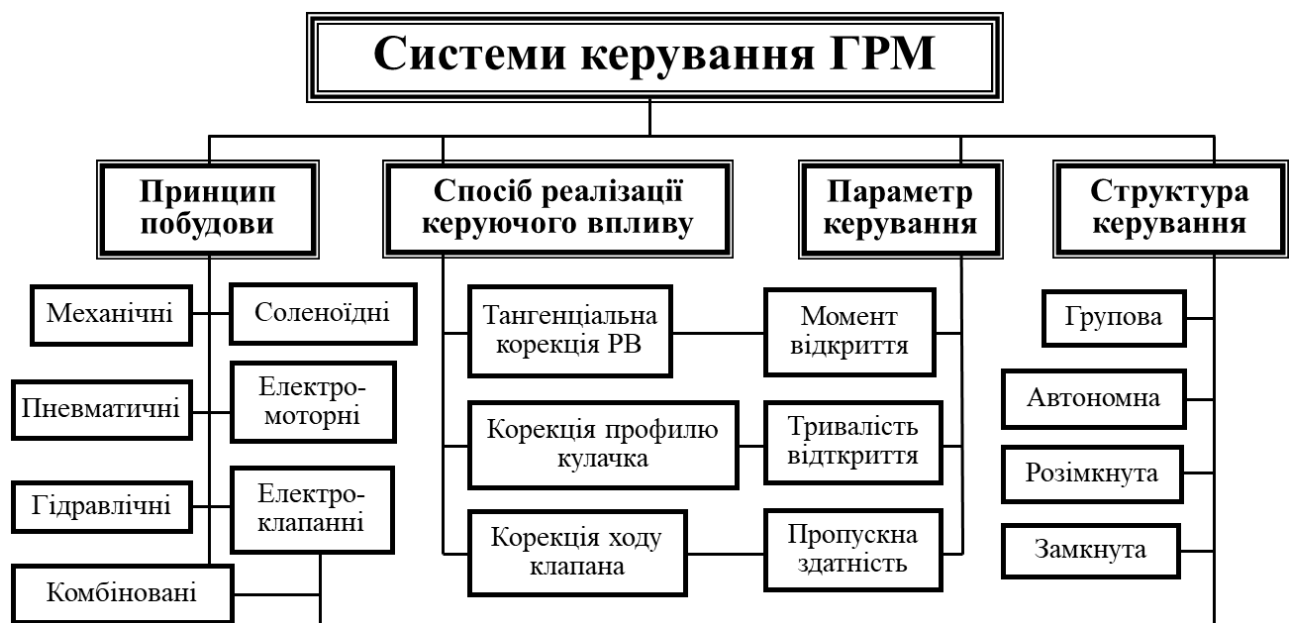


Рис. 2.20. Класифікація систем керування ГРМ

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

У системах з тангенціальною корекцією, розподільний вал повертається відносно початкового положення виконавчим пристроєм.

Така корекція кутового положення валу на різних експлуатаційних режимах призводить до зміни моменту відкриття/закриття впускних і випускних клапанів, що підвищує ефективну потужність ДВЗ.

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

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

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

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

- нагрівання повітря в системі обігріву салону;
- охолодження масла в системі змащення;
- охолодження ВГ в системі їх рециркуляції;
- охолодження робочої рідини в автоматичній коробці передач;
- охолодження повітря в системі турбонадува.

Найпростіше електронне керування в основному контурі охолодження реалізується за рахунок включення електровентилятора радіатора, електронасоса або перепускного електроклапана (ЕК) витрати охолоджуючої рідини (ОР) за визначеним алгоритмом, залежно від температури двигуна, частоти обертання колінчастого валу і роботи кондиціонера. Для перемикання потоку ОР на малий контур при прогріванні двигуна, використовується термостат і паралельно з ним перепускний електроклапан. У системах електронного керування, також

використовується електроклапан дегазації ОР, який контролює об'єм рідини в контурі дегазації при підвищенні температури і обмежує циркуляцію ОР з метою прискорення прогріву двигуна. Клапани керуються ШІМ-сигналом.

Допоміжний контур обігрівача салону в напівавтоматичному режимі задіється через ЕК або перепускну заслінку з електроприводом. При цьому, підтримка заданої температури в салоні виконується автоматично (рис. 2.21).

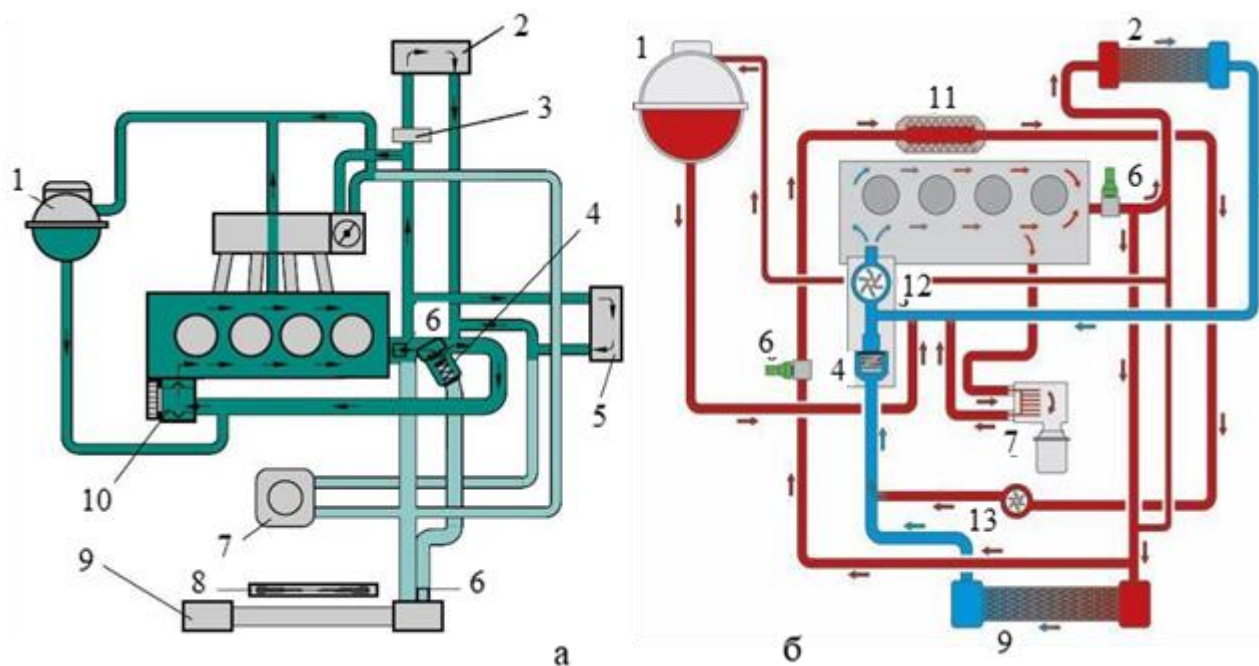


Рис. 2.21. Системи з додатковими контурами охолодження:
а – коробки передач; б – системи рециркуляції ВГ

Згідно позиціям рис. 2.21 позначено: 1 – розширювальний бачок; 2 – теплообмінник опалювача; 3 – ЕК відключення радіатора системи опалення; 4 – розподільник ОР з термостатом; 5 – масляний радіатор КП; 6 – ДТОР; 7 – масляний радіатор ДВЗ; 8 – електровентиль; 9 – основний радіатор СО; 10 – рідинний електронасос; 11 – радіатор системи рециркуляції відпрацьованих газів; 12 – механічний насос ОР; 13 – додатковий електронасос ОР.

Застосування системи охолодження з електронним регулюванням температури дозволяє регулювати (оптимізувати) температуру ОР при частковому навантаженні двигуна в межах від 95 °С до 110 °С і при повному навантаженні – від 85 °С до 95 °С. Згідно з програмою

оптимізації, закладеної в пам'ять блоку керування двигуном, за допомогою дії термостата і вентиляторів, досягається необхідна робоча температура двигуна.

Відмітною ознакою системи (рис. 2.21, а) є використання розподільника 4 з керованим термостатом (рис. 2.22).

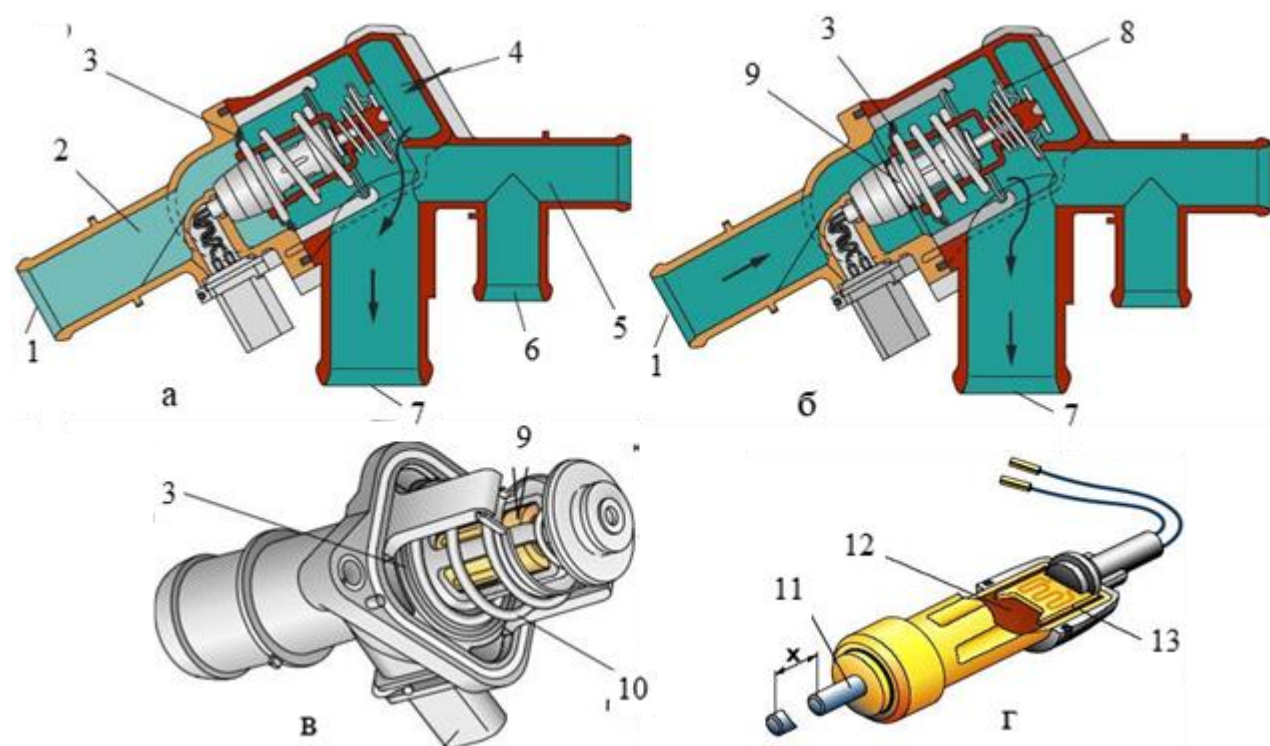


Рис. 2.22. Устрій розподільника ОР з електричним термостатом:

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

Згідно позиціям рис. 2.22 позначено: 1 – потік ОР від основного радіатора; 2 – зона відстоювання ОР при закритій клапанній тарілці; 3 – велика клапанна тарілка; 4 – потік ОР від двигуна; 5 – потік ОР від системи опалення; 6 – потік ОР від масляного радіатора; 7 – потік ОР від рідинного насосу; 8 – мала клапанна тарілка; 9 – електронний термостат; 10 – пружина; 11 – штифт; 12 – термочутливий наповнювач; 13 – резистивний нагрівальний елемент.

При нагріванні ОР наповнювач 12 розріджується і розширюється, що веде до підйому штифта 11. Коли нагрівач знеструмлений, термостат діє як традиційний, однак температура його спрацьовування підвищена і становить 110 °С (температура ОР на виході з двигуна). У наповнювач вбудований нагрівач 13. При подачі струму на виконавчий пристрій, наповнювач 12 впливає на штифт 11. Штифт, в

цьому випадку, переміщається не тільки під дією нагрітої ОР, а й під дією нагрівача 13, а ступінь його нагрівання визначає ЕБК відповідно до закладеної в нього програмою оптимізації температури ОР. Ступінь нагріву наповнювача задається ШІМ-регулятором струму нагрівача.

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

Для швидкого прогрівання двигуна після його запуску, задіється малий контур охолодження, в який включені теплообмінник системи опалення і масляний радіатор. Алгоритм корекції ступеня охолодження включається при перемиканні на великий контур охолодження, коли температура ОР досягає встановленого значення 110 °С, або двигун працює під граничним навантаженням (по команді ЕБК). При цьому, нагрівач термостата активізується і в розподільнику відкривається шлях для ОР з радіатора. Одночасно, мала клапанна тарілка перекриває шлях до насосу в малому контурі. Насос подає ОР з головки блоку безпосередньо до радіатора. Охолоджена рідина з радіатора надходить у нижню частину блоку двигуна і звідти засмоктується насосом. Можлива також комбінована циркуляція ОР. При цьому, частина рідини проходить по малому контуру, а частина – по великому.

Додатковий електронасос в системі охолодження може виконувати одну з функцій:

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

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

Система керування ступенем стиснення в циліндрах дозволяє значно підвищити ефективну потужність двигуна шляхом зміни об'єму камери згоряння. При цьому, оптимізується безпосередньо потужність двигуна, яка необхідна на певних експлуатаційних режимах.

Як наслідок, така оптимізація приводить до економії палива і відповідно підвищення питомої потужності ДВЗ. Технологія зміни ступеню стиснення VCR (Variable Compression Ratio) передбачає різні схеми і способи реалізації керуючих впливів (рис. 2.23).

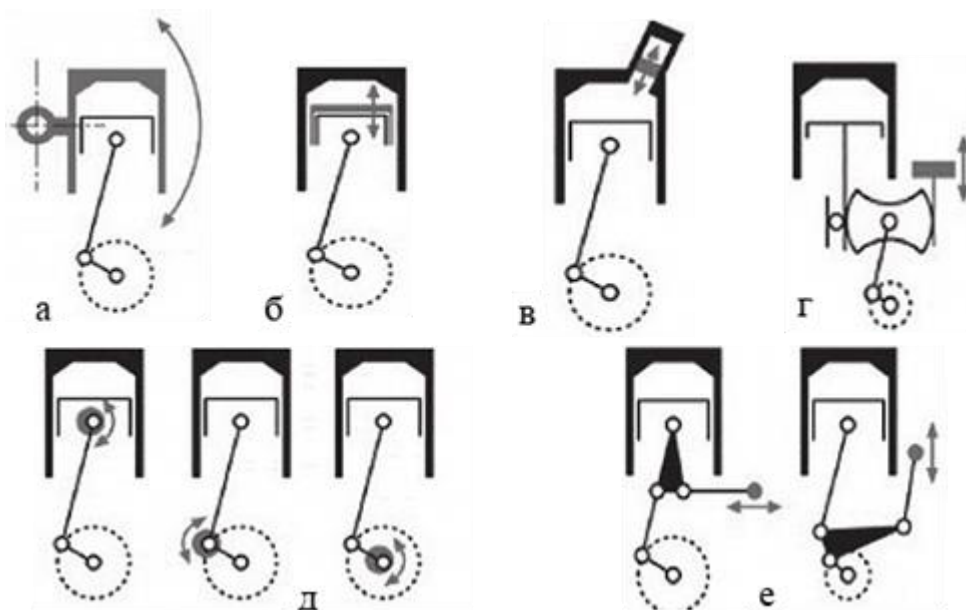


Рис. 2.23. Способи зміни ступеню стиснення в циліндрі:

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

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

До *екологічних систем* слід віднести системи: примусової вентиляції картерних газів (механічний клапан 2), утилізації випарів палива, рециркуляції і нейтралізації відпрацьованих газів, вторинної подачі повітря (рис. 2.24).

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

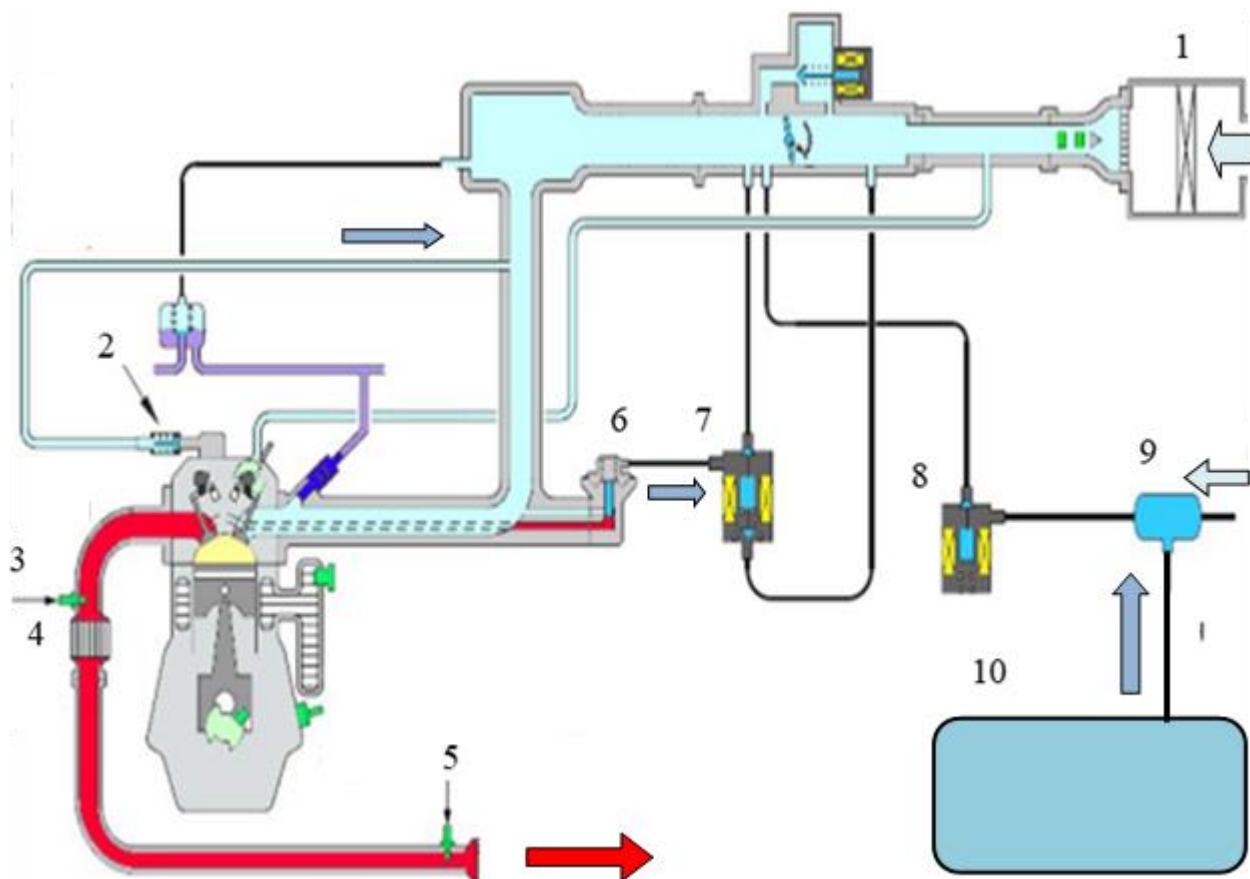


Рис. 2.24. Схема реалізації екологічних систем ДВЗ:

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

Нейтралізатор 4 знижує вміст шкідливих компонентів шляхом термічного, окисного або відновлювального впливу на ВГ. Контроль ефективності впливу екологічних систем на склад ВГ здійснюється першим датчиком 3, за сигналами з якого, через ЕБК (зворотний зв'язок) коригується режим паливних форсунок. Другий датчик 5 на виході вихлопного тракту контролює ефективність функціонування (справність) нейтралізатора 4.

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

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

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

У електропневматичних системах роботою клапана керує ЕБК двигуна на підставі показань датчиків. Залежно від того, який датчик є основним, розрізняють чотири типи систем [23]:

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

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

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

Система подачі вторинного повітря дозволяє знизити шкідливі викиди окисів вуглецю і незгорілих вуглеводнів у ВГ під час холодних

запусків бензинових ДВЗ, коли потрібна багата паливно-повітряна суміш. Це відбувається тому що каталізатор не встигає нагрітися до робочої температури. Щоб зменшити цей негативний вплив, подається атмосферне повітря у випускний колектор в безпосередній близькості від випускних клапанів. Це призводить до додаткового окислення або згоряння шкідливих речовин у ВГ з виділенням тепла та продуктів реакції (вуглекислого газу й води). При цьому, прискорюється нагрівання каталізатору і датчиків кисню. До складу системи входять: насос вторинного повітря 2 з реле вмикання 4, клапан подачі вторинного повітря 6, електроклапан 5 (рис. 2.25).

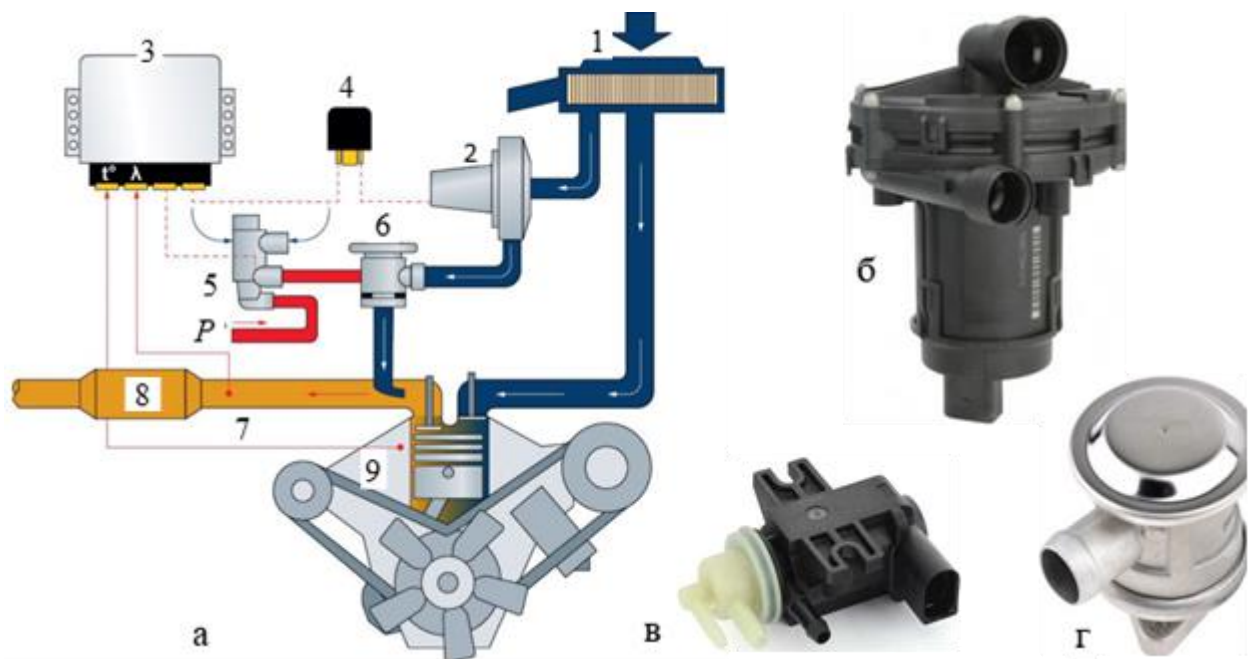


Рис. 2.25. Система подачі вторинного повітря:

а – схема компоновки; б – електричний насос; в – електроклапан подачі розрідження; г – перемикаючий пневмоклапан

Атмосферне повітря надходить в насос через канал повітряного фільтра 1. Клапан подачі вторинного повітря 6 поєднує в собі зворотний та регулюючий клапани. Зворотний клапан запобігає викиду вихлопних газів і конденсату з вихлопної системи. Регулюючий клапан керується вакуумом, тиском повітря або електрикою. В першому випадку, вакуум P комутується електромагнітним перемикаючим клапаном 5 (рис. 2.25, а). Електронний блок 3 у структурі ЕБК ДВЗ формує сигнали керування насосом і електроклапаном на підставі інформації від датчиків ДТОР 9, ДКК встановленим перед каталізатором 8, ДМВП та ДПКВ.

2.4. Устрій і функціонування систем впорскування палива

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

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

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

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

KE-Jetronic (E – Electronic) за атрибутами класифікаційної структури відповідає ознакам системи K-Jetronic за винятком технічного рішення. Керування подачею палива в цій системі реалізовано на електронному рівні із застосуванням датчиків вимірювальної інформації і електричних виконавчих пристроїв [3, 4, 24] (рис. 2.26).

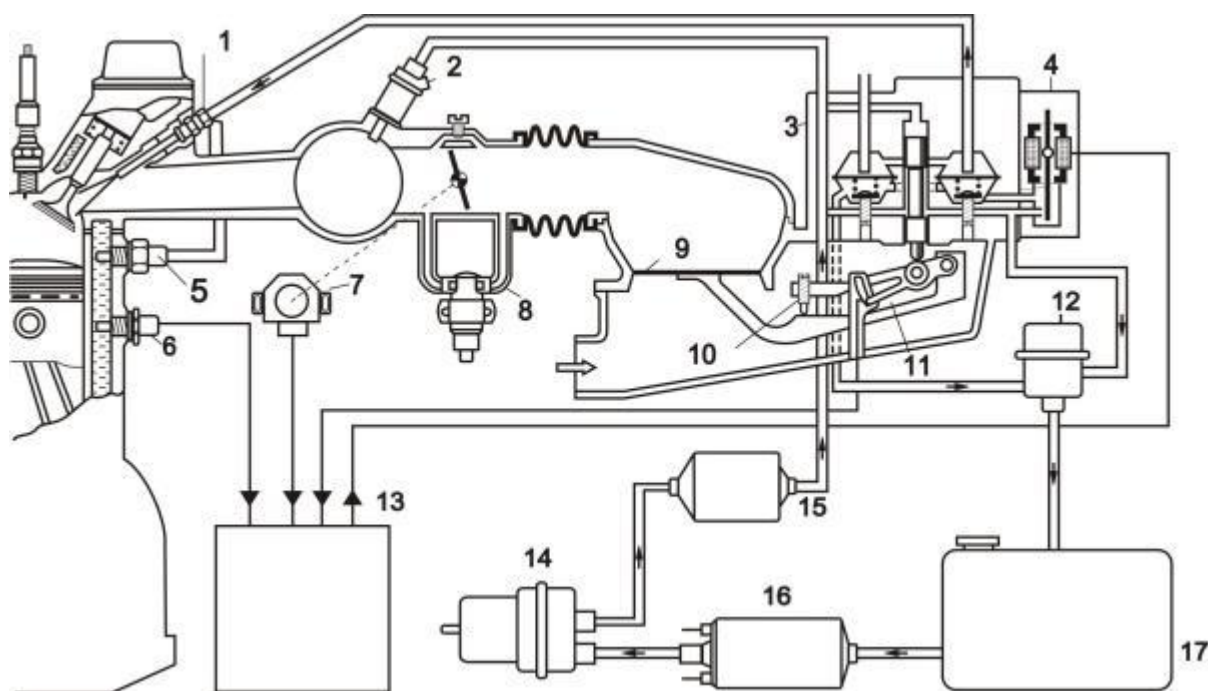


Рис. 2.26. Система впорскування KE-Jetronic:

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

При запуску двигуна, коли розрідження у впускному колекторі недостатньо, включається в роботу пускова форсунка 2 під тиском, створюваним насосом 16. Тривалість впорскування через неї, регламентується часом спрацьовування біметалічного термореле 5 (температурного таймера). Додаткова подача повітря на холостому ходу, при холодному пуску й прогріванні двигуна, здійснюється через байпасний канал через ЕК регулятора з поворотною заслінкою 8. На робочих режимах ДВЗ, паливо під тиском, створюваним насосом 16, через регулятор тиску 4 і дозатор-розподільник 3 надходить до форсунок 1.

Форсунки розпилюють паливо, кількість якого визначається його тиском залежно від навантаження (розрідження у впускному колекторі) і температури ОР. Регулювання кількості палива забезпечується дозатором 3, який механічно коригується витратоміром повітря (рота-метром) і електрогідравлічним регулятором керуючого тиску 4. Таким чином, тиск на вході форсунки визначається за сигналами датчиків

ДТОР 6, ДПДЗ 7, положення ротаметра 11 і частоти обертання колінчастого валу двигуна (розподільника запалювання).

Дозатор-розподільник має диференціальні (розділені діафрагмою) клапани відповідно до кількості циліндрів двигуна. Нижні камери 8 з'єднані кільцевим трубопроводом з регулятором 10, а верхні 7, – з форсунками циліндрів (рис. 2.27).

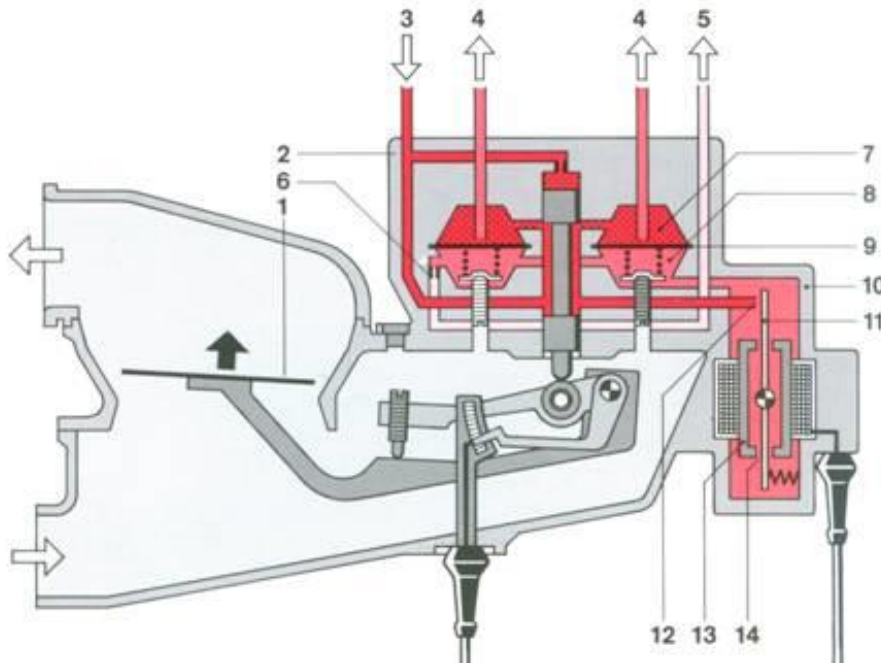


Рис. 2.27. Композиція дозатора палива, регулятора керуючого тиску і ротаметра: 1 – напірний диск; 2 – дозатор палива; 3 – системний тиск; 4 – паливо до форсунок циліндрів; 5 – зливна магістраль; 6 – постійний жиклер; 7 – верхні камери; 8 – нижні камери; 9 – діафрагма; 10 – електрогідравлічний регулятор керуючого тиску; 11 – пластина мембранного типу; 12 – жиклер; 13 – полюс магніту; 14 – повітряний зазор

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

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

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

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

Mono-Jetronic (один струмінь) – електронна система, одноточенного впорскування у впускний колектор за допомогою центральної електромагнітної паливної форсунки (ПФ). Дозування палива в системі відбувається за рахунок керування тривалістю спрацьовування електромагнітної ПФ під постійним тиском. Система, таким чином, забезпечує імпульсне неузгоджене одночасне впорскування палива. До складу системи керування різних модифікацій входять близько семи датчиків вимірювальної інформації, ЕБК і до п'яти електричних виконавчих пристроїв [3, 4, 24] (рис. 2.28).

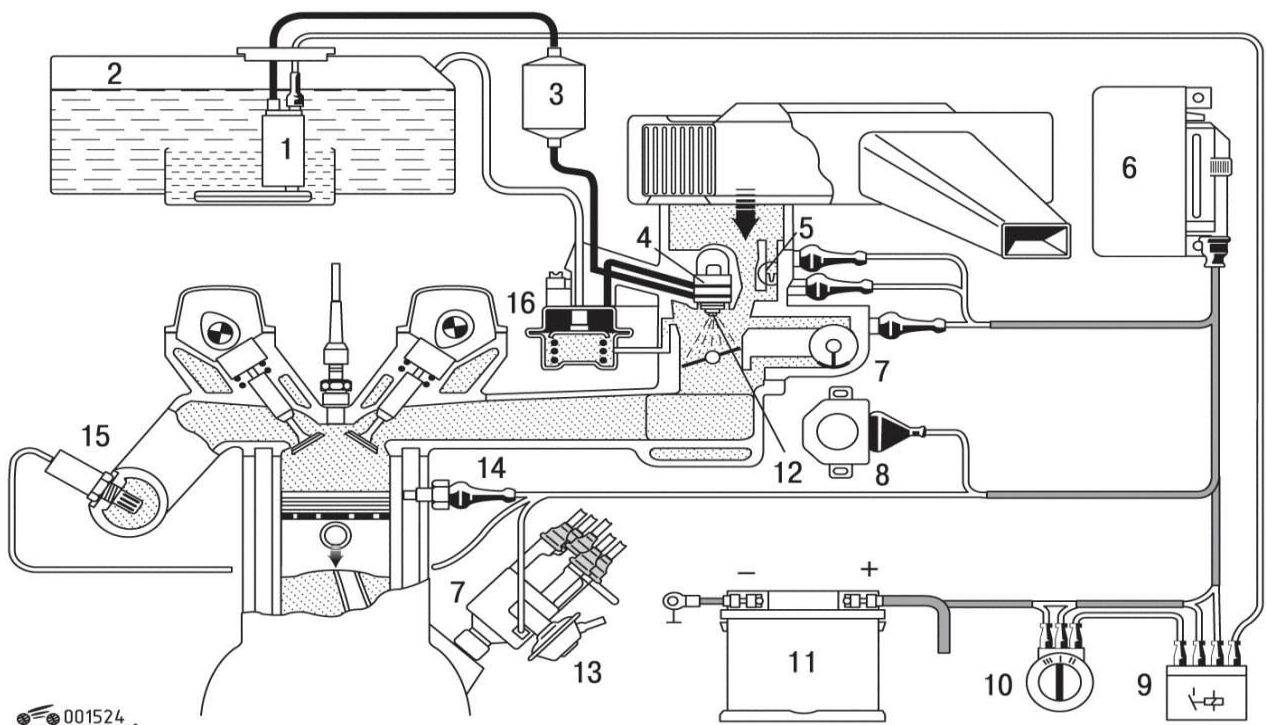


Рис. 2.28. Система впорскування **Mono-Jetronic**: 1 – паливний насос; 2 – паливний бак; 3 – паливний фільтр; 4 – форсунка; 5 – датчик температури повітря; 6 – ЕБК; 7 – РХХ; 8 – потенціометр ДПДЗ; 9 – реле; 10 – вимикач запалювання, 11 – АКБ; 12 – ДЗ; 13 – датчик-розподільник запалювання; 14 – датчик ДТОР; 15 – лямбда-датчик; 16 – регулятор тиску

Паливна форсунка 4 встановлена безпосередньо перед дросельною заслінкою 12, і тому надлишковий тиск подачі палива, що розвивається паливним насосом 1, низький (близько 1 бар). Регулятор тиску палива 16 встановлений в єдиному вузлу з ПФ 4.

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

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

L-Jetronic (Lade – точна позиція, заряд) – електронна система розподіленого імпульсного впорскування палива за допомогою електромагнітних ПФ, які розташовані над впускними клапанами ГРМ [3, 4, 24] (рис. 2.29).

Дозування палива відбувається за рахунок керування тривалістю спрацьовування форсунок 7 кожного циліндра. Залежно від модифікації системи може здійснюватися одночасне групове чи фазоване (індивідуальне) впорскування палива.

У перших двох випадках, відбувається неузгоджене впорскування, в останньому – узгоджене. В системі використовується пускова електромеханічна форсунка 8, яка розташована під ДЗ 11 в розширювальному ресивері впускного колектору. Пускова форсунка працює в безперервному режимі під час пуску двигуна. Тривалість відкритого стану форсунки в пусковому режимі визначається часом спрацьовування термореле 14. Керування подачею повітря на холостому ходу здійснюється через байпасний канал за допомогою електро-біметалевого або електроклапанного регулятора 16.

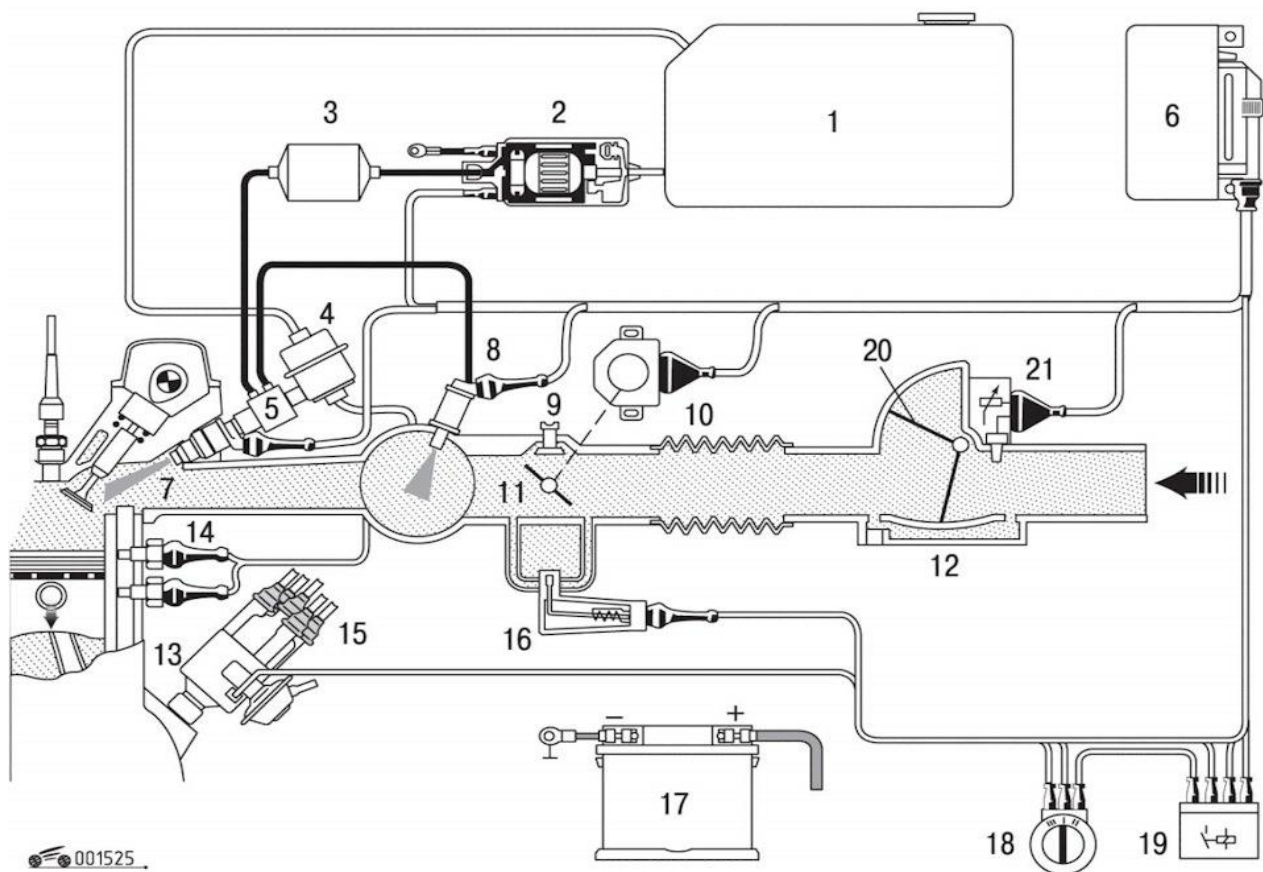


Рис. 2.29. Система впорскування палива L-Jetronic:

- 1 – паливний бак; 2 – паливний насос; 3 – паливний фільтр; 4 – розподільник палива; 5 – регулятор тиску; 6 – ЕБК; 7 – робоча форсунка; 8 – пускова форсунка; 9 – гвинт регулювання обертів ХХ; 10 – потенціометр ДПДЗ; 11 – ДЗ; 12 – витратомір повітря; 13 – датчик ДТОР; 14 – термореле часу; 15 – розподільник запалювання; 16 – РХХ; 17 – АКБ; 18 – вимикач запалювання; 19 – реле живлення; 20 – заспокоювач; 21 – потенціометр витратоміра

Залежно від режимів роботи двигуна, його стану і експлуатаційних умов може здійснюватися синхронне або асинхронне впорскування палива, забезпечуючи необхідні значення коефіцієнтів надлишку повітря α (рис. 2.30).

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



Рис. 1.2.30. Режими функціонування системи вприскування

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

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

Після пуску двигуна (коли оберти перевищать $n > 400 \text{ хв}^{-1}$), ЕБК забезпечує *робочий режим* вприскування, підтримуючи оптимальне

співвідношення повітря/паливо (коефіцієнт надлишку повітря α). Сигнал впрыскування в цьому режимі формується на підставі сигналів датчиків ДПКВ, ДМВП, ДТОР, ДПДЗ. У системах зі зворотним зв'язком, аналізується сигнал з датчика ДКК, на основі якого виконується коригування тривалості імпульсу t_{ϕ} .

Режим збагачення при прискореннях (збільшення тривалості імпульсів впрыскування) активізується, якщо ЕБК реєструє різке відкриття ДЗ γ і підвищення витрати повітря. Збагачення суміші забезпечується тільки при перехідних режимах.

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

Режим збіднення при гальмуванні підвищує екологічні та паливо-економічні показники двигуна. Зменшення тривалості імпульсу впрыскування t_{ϕ} , на цьому режимі, здійснюється на основі порівняння сигналів з ДПДЗ (коли заслінка закрита $\gamma=0\%$) і ДМРВ (коли витрата повітря G_{Π} мала).

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

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

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

LE-Jetronic є різновидами системи L-Jetronic з де-якими відмінностями електронного керування, які не змінюють атрибутів системи

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

LN-Jetronic (Nauch – подих вітру) відрізняється від попередніх систем L-групи застосуванням принципово нового датчика масової витрати повітря – масметра 10 (рис. 2.31).

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

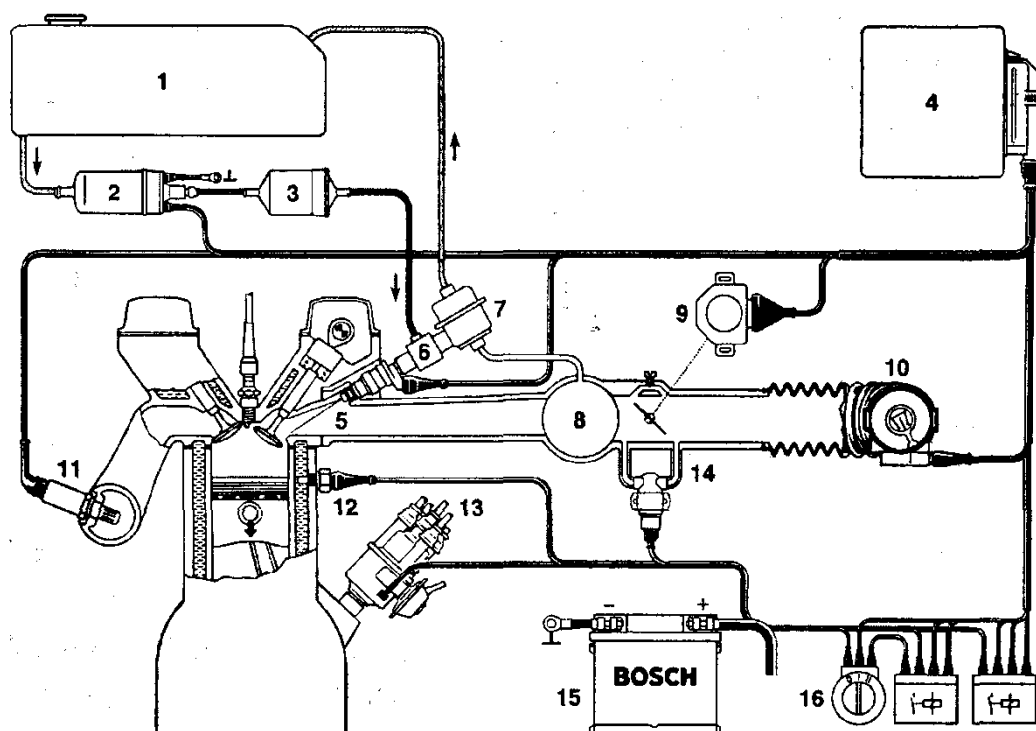


Рис. 2.31. Система LN-Jetronic:

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

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

У системах *D-Jetronic* здійснюється впорскування палива за допомогою форсунок, безпосередньо в циліндри ДВЗ. Система може бути реалізована на механічному або електронному рівні. Завдяки особливості безпосереднього впорскування, такі системи забезпечують тільки розподілене імпульсне узгоджене фазне впорскування. Ці ознаки визначають кілька переваг в порівнянні з системами впорскування у впускний колектор або на впускні клапани. Ознакою систем такого типу є підвищений тиск впорскування палива $30...38 \text{ кгс/см}^2$, яке забезпечується за допомогою насос-форсунок (механічного або електромеханічного типу) або магістрального паливного насоса високого тиску (ПНВТ) з механічним приводом (як в дизельних двигунах). У другому випадку, застосовуються електромагнітні форсунки високого тиску (рис. 2.32).

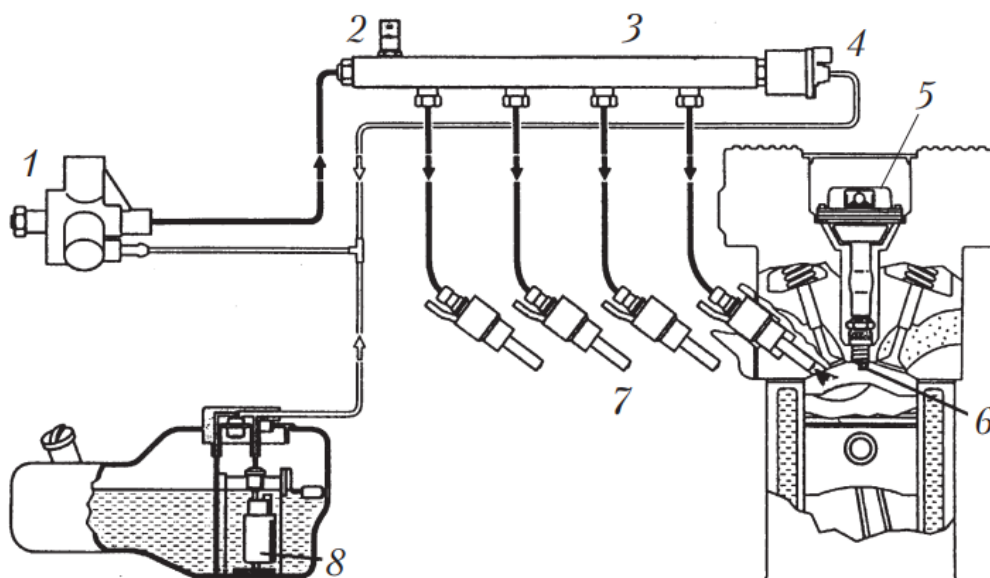


Рис. 2.32. Устрій системи безпосереднього впорскування **D-Jetronic**:
 1 – ПНВТ; 2 – датчик тиску палива; 3 – рампа форсунок; 4 – регулятор тиску;
 5 – котушка запалювання; 6 – свічка запалювання; 7 – паливні форсунки;
 8 – паливний насос низького тиску

Керування подачею палива в контурі високого тиску здійснюється за допомогою редукційного електроклапана вбудованого в ПНВТ. У рампі (паливному акумуляторі) 3 на експлуатаційних режимах двигуна підтримується постійний тиск (зворотний зв'язок по датчику тиску 2). Надлишки палива надходять в зливний канал через механічний регулятор тиску 4.

Для керування подачею повітря в циліндри застосовуються сучасні засоби автоматики [21]: плівкові масметри; електроприводи дросельних та повітряних заслінок; РХХ з шаговими двигунами.

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

2.5. Системи газорозподілу промислових зразків

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

1. З керуванням повороту РВ (натягувачі ланцюга, поворотні гідромuftи і електромотори);

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

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

4. Суміщені системи комплексного керування клапанами;

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

6. Відключення циліндрів ДВЗ (гідроелектричні, електрогідравлічні).

1. Системи з тангенціальною корекцією фаз газорозподілу забезпечують варіацію кутового положення РВ відносно початкового стану і відповідно моменту відкриття клапанів ГРМ.

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

приводиться в обертання від КВ двигуна через шестерню або зірочку пасової або ланцюгової передачі, а РВ впускних клапанів через ланцюгову передачу від зірочки, встановленої на РВ приводу випускних клапанів. Масло у систему надходить через отвір в голівці блоку. Зміна потоків масла, під тиском від механічного насоса, здійснюється керуючим клапаном 1 із золотником 2 за сигналами електронного блоку (рис. 2.33, а).

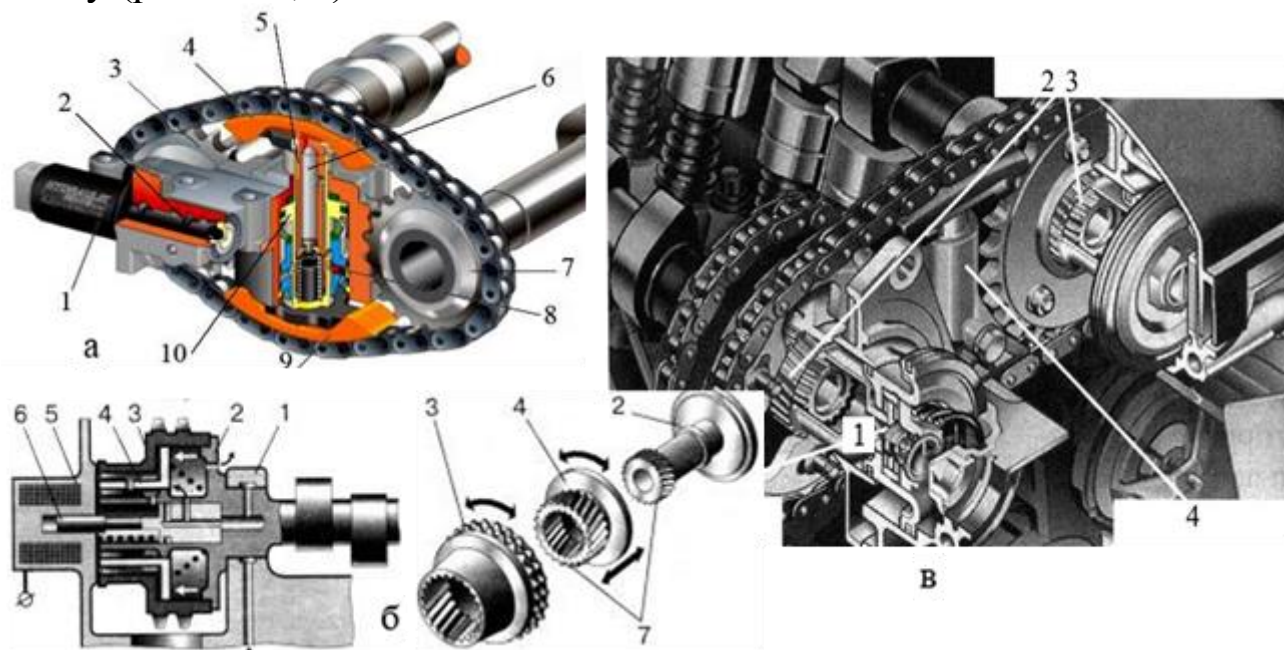


Рис. 2.33. Пристрої для зміни фаз газорозподілу:

- а – з натягом ланцюга:* 1 – керуючий клапан; 2 – золотник; 3 – зірочка приводу впускних клапанів; 4, 9 – натягувачі ланцюга; 5 – штовхач натягувача;
б – порожнина для масла: 7 – зірочка приводу випускних клапанів; 8 – фіксатор стартовий; 10 – керуючий поршень;
б – з поршневым приводом: 1 – головка блоку; 2 – розподільний вал; 3 – зірочка приводу РВ; 4 – поршень; 5 – обмотка електромагніту; 6 – якір-клапан;
 7 – косозуба передача перетворювача руху;
в – поєднана система: 1 – керуючий поршень; 2 – косозуба шестерня;
 3 – прямозуба шестерня; 4 – натягувач ланцюга

Для зміни фаз газорозподілу впускних клапанів служить гідравлічний циліндр з поршнем 10. При подачі масла в циліндр по сигналу ЕБК поршень, висуваючись, впливає на натягувач 4. Одна сторона ланцюга, при цьому, подовжується, а протилежна коротшає, приводячи до повороту барабана приводу впускних клапанів. Керування подачею масла здійснюється за допомогою електроклапана 1. Система

дискретно позиціонує кутове положення РВ і забезпечує ступеневе керування фазою впуску.

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

1.2. В системі CVTC (Continuous Valve Timing Control) РВ приводу впускних клапанів може повертатися і за допомогою поршневого гідроприводу з механізмом перетворення лінійного переміщення поршня в кутовий поворот РВ (муфти з косозубим зачепленням маточини зірочки ланцюга 7) на $12...15^\circ$ (рис. 2.33, б). Подача тиску під поршень 4 реалізується за рахунок переміщення якоря-клапана 6 під керуванням обмотки електромагніту 5. У початковий стан, після перемикання клапана на слив, поршень повертається під дією пружини.

1.3. В конструкції деяких двигунів BMW застосовані принципи роботи обох вищеописаних способів зміни фаз газорозподілу (рис. 2.33, в). Косозуба шестерня 2 може переміщатися в поздовжньому напрямку під впливом тиску масла на керуючий поршень, забезпечуючи поворот барабана приводу розподільного валу. Застосування такої конструкції дозволяє змінювати фази газорозподілу не тільки для впускних, а й для випускних клапанів (до 46°).

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

1.5. Аналогічно реалізується і система VVT-i (Variable Valve Timing intelligent) з двома приводами для РВ впускних і випускних клапанів. Механізм приводу тангенціальної корекції складається з корпусу з електрогідравлічними клапанами-розподільниками 7, 8 і двох гідравлічних муфт 2 і 5 (рис. 2.34, а).

Гідравлічна муфта складається з роторної 14 і статорної 15 частин. Ротор зафіксований на РВ, а статор на шківі (зірочці) приводу ГРМ. У роторі розташовані масляні канали 16, по яких масло заповнює камери, утворені між ротором і статором.

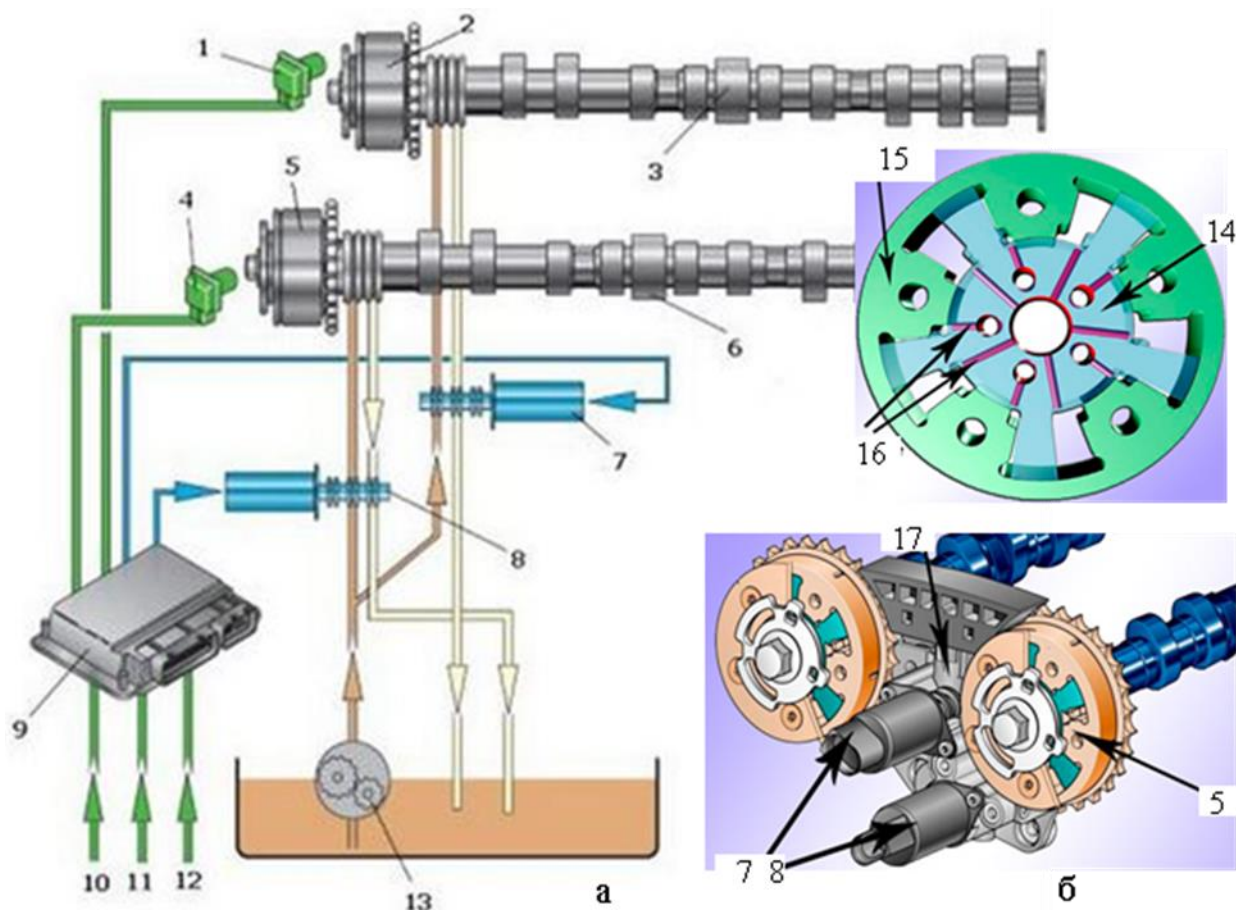


Рис. 2.34. Система зміни фаз газорозподілу типу VVT-i:

а – схема системи: 1, 4 – датчики Холла впускного і випускного РВ; 2, 5 – гідравлічні муфти впускного і випускного РВ; 3, 6 – впускний і випускний РВ; 7, 8 – електроклапана-розподільники впускного і випускного РВ; 9 – ЕБК двигуна; 10, 11, 12 – сигнали від датчиків ДТОР, витратоміра повітря і частоти обертання КВ двигуна; 13 – масляний насос;

б – устрій гідравлічної муфти: 14 – роторна частина; 15 – статорна частина; 16 – масляні канали; 17 – корпус муфти

Заповнення тій чи іншій частини камери призводить до повороту ротора (РВ) відносно статора, в ту чи іншу сторону на необхідний кут. Подача тиску в гідромуфту здійснюється по масляним каналам в корпусі 17 і кільцевим проточкам ротору 14 за допомогою перемикаючих золотникових клапанів 7, 8. Для контролю кутового положення РВ, на корпусі механізму приводу встановлені інкрементні датчики Холла, спрацювання яких, активізується вимірювальним диском, закріпленим на роторній частини приводу ГРМ. Керування клапанами проводиться на підставі інформації, отриманої з датчиків двигуна: частоти обертання; витрати і температури повітря, ДТОР; ДПРВ.

1.6. Аналогічний підхід, але з використанням приводу 1 з кроковим електродвигуном 2 і механічним замковим редуктором 3 замість гідравліки, застосований в системі *VVT-iE* автомобілів компанії Toyota (рис. 2.35).

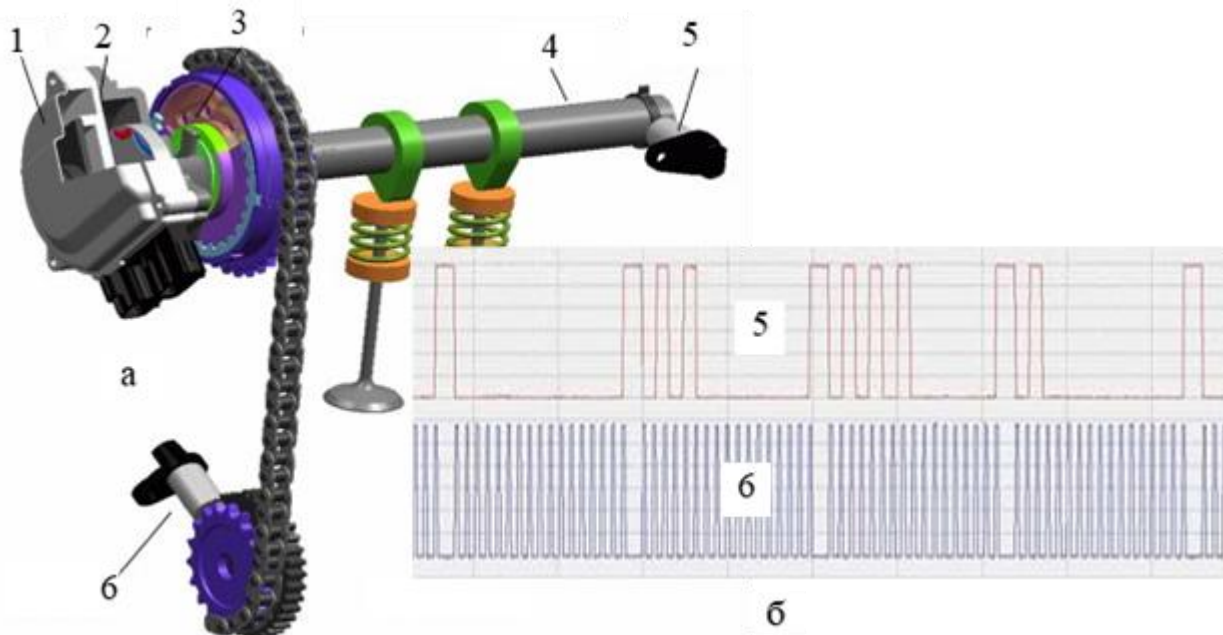


Рис. 2.35. Мехатронна система VVT-iE: а – устрій; б – сигнали датчиків

Редуктор 3 дозволяє провертати РВ відносно привідної зірочки з ланцюгом. При реверсному зміні швидкості обертання крокового двигуна, відбувається послідовне розблаковування, провертання та фіксація РВ, забезпечуючі варіацію кутового положення кулачків та синхронізацію обертання привідної зірочки з РВ і електродвигуном.

Положення Р 4 і кулачків контролюється дискретним датчиком ДПРВ 5. Для керування електричним приводом ГРМ, також використовується датчик ДПКВ 6, який інформує ЕБК про момент початку відліку. Це дозволяє контролювати частоту обертання і розраховувати фазовий зсув між РВ і КВ для визначення реального кутового положення РВ.

2. Системи зі зміною висоти підйому клапана забезпечують варіацію ефективного перерізу і відповідно продуктивності газового каналу ГРМ.

2.1. Система *Valvetronic* (BMW) здійснює керування підйомом (ходом) впускних клапанів і дозволяє відмовитися від використання дросельної заслінки. Для зміни ходу клапана використовується

складна кінематична схема електроприводу з проміжним важелем (рис. 2.36, а).

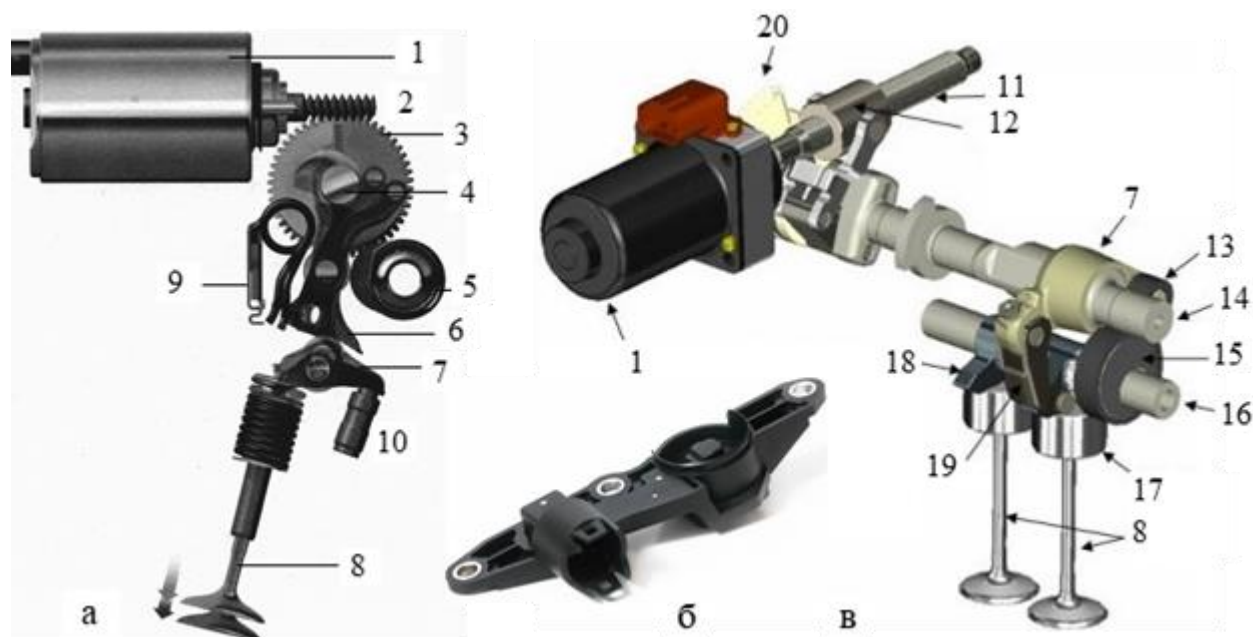


Рис. 2.36. Конструкції електромеханічних систем ГРМ:

а – Valvetronic; б – датчик кутового положення ексцентрикового валу; в – VVEL

У приводі клапанів, крім кулачків РВ 5, додатково задіяні ексцентриковий вал 4 і проміжний важіль 6 з повертаючою пружиною 9. За сигналами режимних датчиків системи керування ДВЗ та датчика кутового положення ексцентрикового валу, ЕБК формує сигнал керування сервоприводом 1, який через червячну передачу 2, 3 обертає ексцентриковий вал 4. Останній, в свою чергу, змінює положення проміжного важеля 6, який через коромисло 7 з опорою на гідрокомпенсатор 10, змінює висоту підйому впускного клапана 8, регулюючи фази газорозподілу.

Оригінальним елементом системи керування Valvetronic є інкрементний датчик кутового положення ексцентрикового валу (ДПЕВ) мехатронного типу, який базується на двох цифрових мікросхемах Холла (рис. 2.36, б).

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

2.3. В системі VVL (Variable Valve Lift) Nissan також використовуються проміжні ланки між розподілвалом і клапанами з

гідроелектричним поршневим приводом, який коригує передавальне відношення системи важелів.

2.4. В системі *VVEL* (Variable Valve Event Lift) розробки Nissan використовується електромоторний привід з редуктором 11, 12 типу гвинт-кулькова гайка, який через важіль повертає вал керування 14 ексцентриковою опорою рухомого зчленування коромисла 7 [25] (рис. 2.36, в). Поворот валу 14 викликає зміну точки опори коромисла. Кінці коромисла 7 рухомо зчленовані з проміжними ланками 13 і 19. На РВ 16 закріплений ексцентриковий кулачок 15, який приводить в дію коромисло 7 за допомогою ланки 13. При цьому, протилежне плече коромисла через виліт 19 забезпечує зворотно-поступальний рух кулачків 18 і штовхачів 17. Кулачки 18 зчленовані з ланкою 19, і з РВ за допомогою підшипників ковзання. Таким чином, поворот валу 14 змінює коефіцієнт передачі коромисла 7, забезпечуючи варіацію підйому між повідними ексцентриком 15 і виконавчим кулачком 18.

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

2.6. Система *Variocam* фірми Порше впровадила для своїх двигунів з турбо-наддувом *чашковий штовхач* із змінною висотою підйому клапана (рис. 2.37).

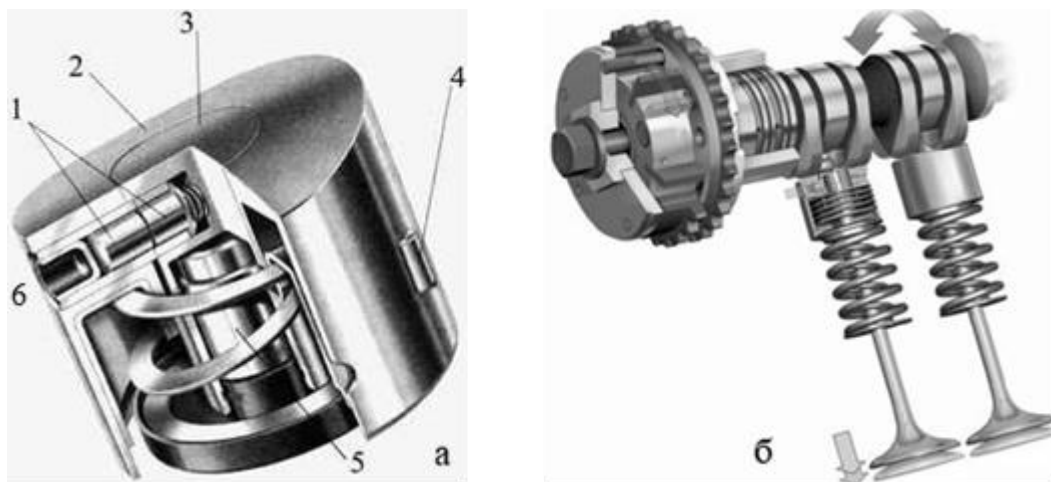


Рис. 2.37. Система ГРМ з чашковими штовхачами підйому клапанів:

а – устрій складеного штовхача Variocam;

б – компоновка суміщеної системи Variocam Plus

Чашковий штовхач складається з двох частин – внутрішнього 3 і зовнішнього 2 штовхачів, які з'єднуються між собою замикаючим плунжером 1 (рис. 2.37, а). Плунжер переміщається тиском масла в камері 6, яке подається через канали головки циліндрів. Переміщення штовхача кулачками РВ демпфіруються вбудованим гідро-компенсатором 5 і повертаючою пружиною. На зовнішній частині штовхача передбачений підшипник 4 для фіксації штовхача від провертання в гільзі.

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

2.7. Система *Variocam Plus* включає механізми складеного штовхача і поворотної гідромуфти, та відтворює відповідні функції керування ходом і моментом відкриття клапанів ГРМ (рис. 2.37, б).

3. Системи із застосуванням кулачків різного профілю забезпечують ступінчасту зміну підйому клапану (якщо профіль параметрується висотою виступу), або тривалості відчиненого стану клапану (якщо профіль параметрується довжиною виступу).

3.1. Система зміни фаз з різною формою кулачків *VTEC* (Variable Timing Electronic Control) влаштована таким чином. На кожному циліндрі використовуються два впускні клапани, три коромисла і три кулачка на РВ – два крайніх 1 одного розміру, а третій по середині 2 більший по висоті (рис. 2.38).

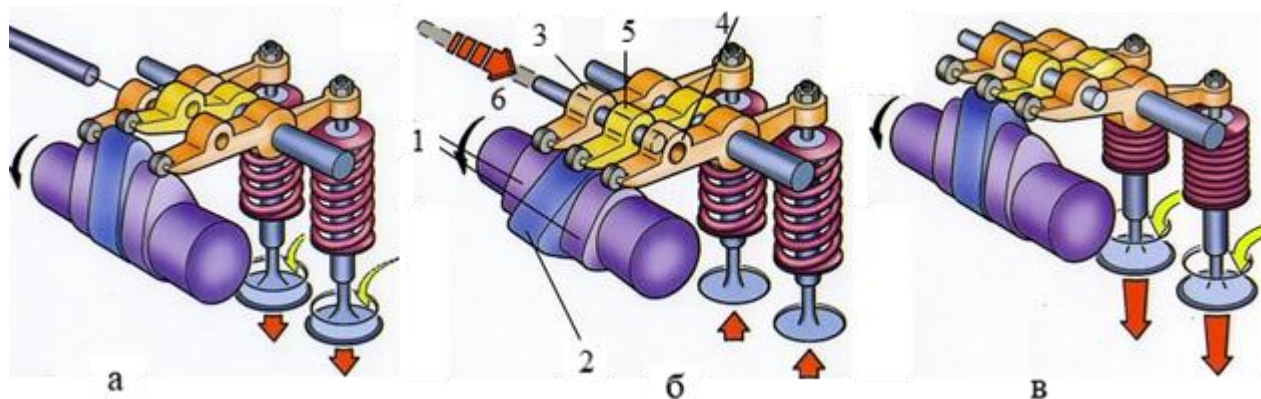


Рис. 2.38. Керуючі впливи коромисел ГРМ з різною формою кулачків:
а – незалежна робота; б – керування об'єднанням; в – монолітна робота

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

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

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

3.3. В системі *AVS* (Audi Valvelift System) впускні клапани відкриваються кулачками різного профілю, шляхом осьового зміщення кулачків РВ. Шток складається з валу зі шліцьовими ділянками 1 напроти коромисел клапанів і кулачкових модулів 2, які переміщуються на шліцах (рис. 2.39).

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

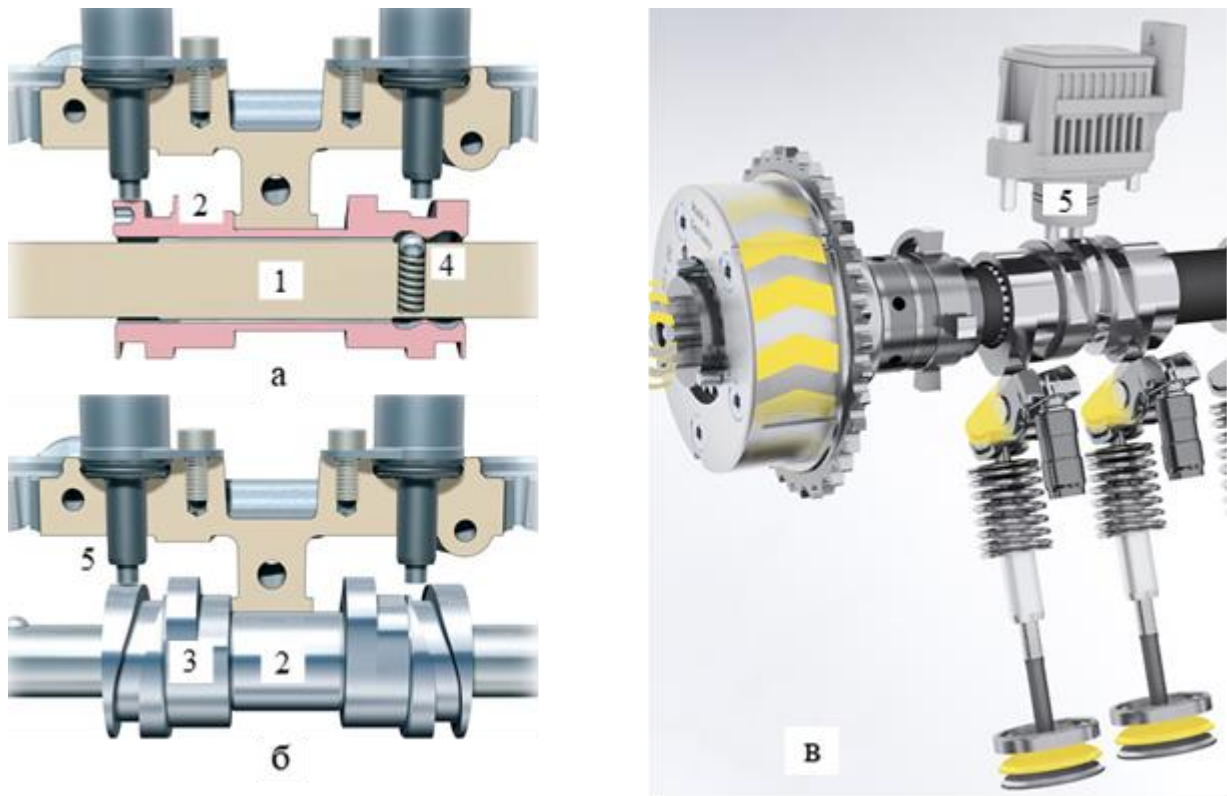


Рис. 2.39. Устрій системи AVS з осьовим зміщенням кулачків:
а – композиція механізму осьового зсуву кулачків; б – реалізація керуючих впливів на кулачкову муфту; в – загальна компоновка системи

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

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

4. Суміщені системи комплексного керування клапанами являють синтезовані варіанти декількох технічних рішень мехатронних систем, які дозволяють реалізувати декілька керуючих впливів на клапани ГРМ (дивись вище п.п.: 1.3, 2.2, 2.5, 2.7, 3.2).

5. Системи з автономним керуванням клапанами дозволяють позбавитись деяких деталей ГРМ і навіть ДЗ в конструкції двигуна. При цьому, можливим стає реалізація усіх функцій керування клапанами ГРМ – моментом, під'ємом і тривалістю відкриття.

5.1. Найбільш вдалим з позицій функціональності і енергоспоживання, серед електромагнітних приводів клапанів ГРМ є конструкція EVA (Electromagnetic Valve Actuator), яка являє собою тяговий електромагніт двосторонньої дії. У початковому (знеструмленому) стані, якір приводу 2 збалансований в середньому положенні протидіючими пружинами 4 і забезпечує половинне відкриття клапана ГРМ (рис. 2.40, а).

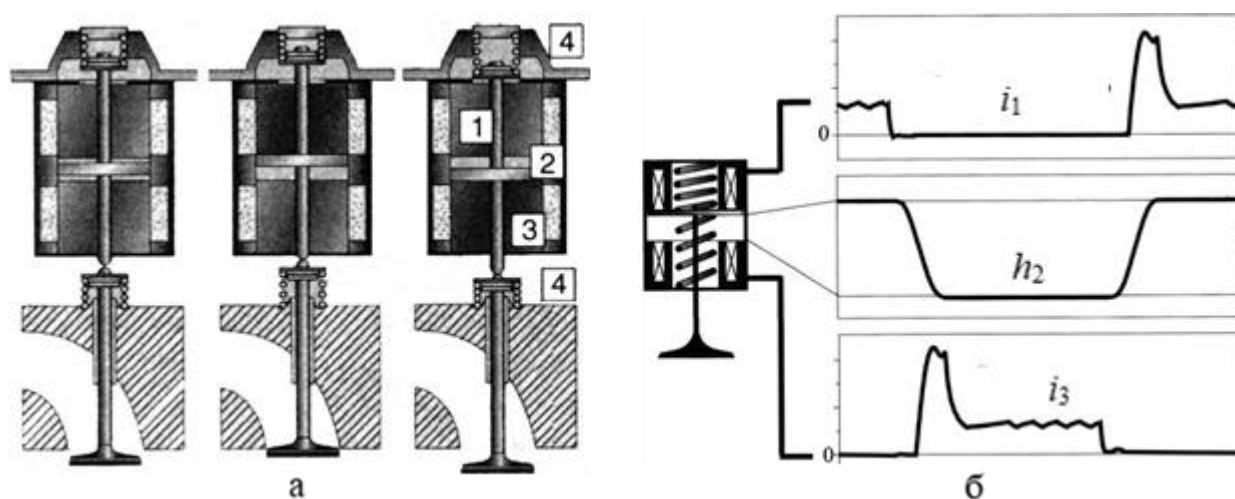


Рис. 2.40. Електромагнітний привід клапана EVA:
а – функціонування; б – формування керуючого сигналу

Подача живлення на обмотки приводу 1 і 3 надає диференціальний вплив на якір, тим самим, приводячи клапан ГРМ в повністю відкритий чи повністю закритий стан. При цьому, поточний стан якоря (клапана) контролюється спеціальним датчиком. Ця синхронізуюча інформація використовується для формування ШІМ-модульованих імпульсів струму в обмотках приводу i_1 , i_3 з метою збільшення швидкості спрацьовування і ступеню відкриття клапана h_2 , а так само для зниження швидкості посадки клапана в сідло (рис. 2.40, б).

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

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

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

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

5.3. У гідроелектричній системі *Multi Air*, випускні клапани ГРМ активізуються РВ 1 і штовхачами 2 за класичною схемою (рис.2.41, а).

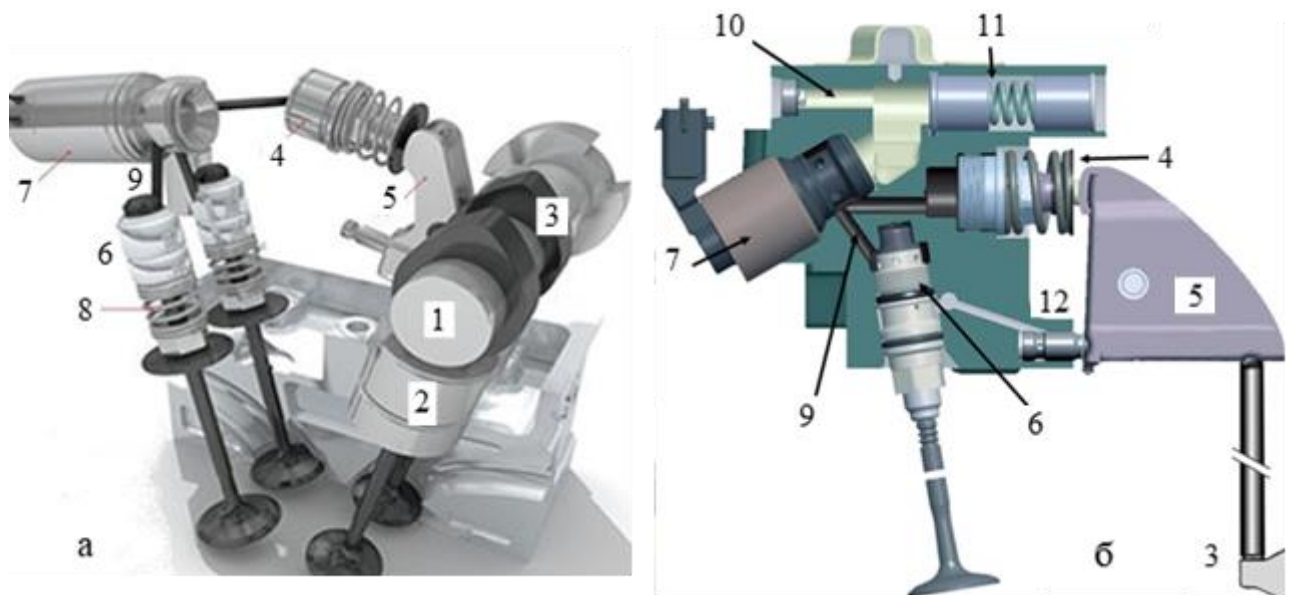


Рис. 2.41. Устрій гідроелектричних приводів клапанів:
а – система *Multi Air*; б – система *Uni Air*

Новим є керування впускними клапанами [26]. На впускному РВ є кулачки 3, що призводять поршень-насос 4 в дію за допомогою важеля 5. Моторне масло під тиском подається на гідравлічний циліндр-штовхач 6 через електромагнітний клапан 7, який відповідає за відкриття впускного клапана. Повернення впускного клапана і штовхача 6 відбувається під дією пружини 8. При цьому, масло з циліндра 6 повертається в порожнину насоса 4 через канал 9 і відкритий електроклапан 7. Таким чином, режим керування електроклапаном 6, визначає ширину фаз і момент відкриття впускних клапанів ГРМ, які можна плавно регулювати аж до повного відключення. Максимальна ширина фази визначається профілем впускного кулачка РВ.

5.4. *Гідроелектрична система Uni Air* також забезпечує автономне керування впускними клапанами без РВ, але на відміну від системи Multi Air дозволяє додатково змінювати підйом клапана ГРМ, завдяки ШІМ-регулюванню струму в обмотці ЕК 7. Гідросистема приводу відрізняється від конфігурації MultiAir наявністю камер проміжного тиску 10 і масляного акумулятора 11 (див. рис. 2.41, б). При закритому ЕК, система працює як «жорсткий» гідрав-металевий штовхач, а при відкритому, масло перетікає в додаткові канали і клапан ГРМ не функціонує. У ШІМ-режимі, штовхач клапана ГРМ працює через гідрокомпенсатор з керованою жорсткістю. Після кожного відкриття клапана ГРМ акумулятор забезпечує повернення масла в камеру високого тиску за допомогою золотникового клапана 12. Таким чином, момент відкриття і тривалість відкритого стану клапанів ГРМ задається режимом включення електроклапана. При цьому, реалізується керування фазою і продуктивністю клапанного механізму [27].

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

5.5. *Технологія Flex Work* реалізує автономне керування клапанами ГРМ без розподільних валів. Відкриття клапанів здійснюється тиском рідини, який створюється за допомогою соленоїдних приводів насосів (замість кулачків), а закриття, – під дією

пружини [28]. Керування параметрами газорозподілу і компоновка системи аналогічні системі розподіленого безпосереднього впорскування палива.

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

5.6. Система газорозподілу за технологією *Free Valve* не має ні ремінного приводу, ні розподільних валів, ні кулачків, ні штовхачів клапанів [29, 30]. Актуатор системи має комбіновану структуру. Відчиняє клапани пневматика, а допомагає закрити – гідравліка. І пневматична, і гідравлічна системи постійно знаходяться під тиском і передають клапану ГРМ максимум енергії. Завдання електричної частини приводу (електроклапанів) полягає в керуванні силовими магістралями. Охолодження і змащування навантажених елементів системи обслуговуються відповідними системами ДВЗ.

Кожен привід клапана складається з: поршня приводу *AP* (Actuator Piston), циліндра, двох соленоїдів, двох золотникових клапанів, двох портових клапанів і гідравлічної засувки. Соленоїд синхронізації *TS* (Timing Solenoid) керує золотниковим клапаном *SV1* і гідравлічної засувкою *S1*. Соленоїд підйому *LS* (Lift Solenoid) керує іншим золотниковим клапаном *SV2*. У свою чергу, золотникові клапани контролюють повітря, що надходить в циліндр приводу. На схемах рис. 2.42, об'єми повітряних магістралей під надлишковим тиском позначені червоним, а під атмосферним – синім.

Стиснене повітря діє на поршень, який тисне на клапан ГРМ, викликаючи його відкриття. Процес відкриття і закриття клапана можна розділити на три періоди: зарядка повітря, розширення і утримання, випуск повітря. Сигнали керування соленоїдами U_{TS} , U_{LS} і відповідний їм хід поршня h_{AP} (клапана ГРМ) показані на рис. 2.42, а.

Коли на соленоїд синхронізації *TS* подається напруга, він відкриває золотниковий клапан *SV1*, який потім направляє стиснене повітря в циліндр приводу. Тиск, що підвищується, впливає на поршень приводу *AP* і клапан ГРМ. Після наростання струму в соленоїді синхронізації *TS* (4 мс), привід відкриває клапан ГРМ. Зворотний клапан масла *S1* активується одночасно з соленоїдом *TS*, перешкоджаючи надходженню масла назад в резервуар. Оскільки тиск

масла дорівнює тиску повітря, масло надходить в циліндр поршневого компенсатора (рис. 2.42, в).

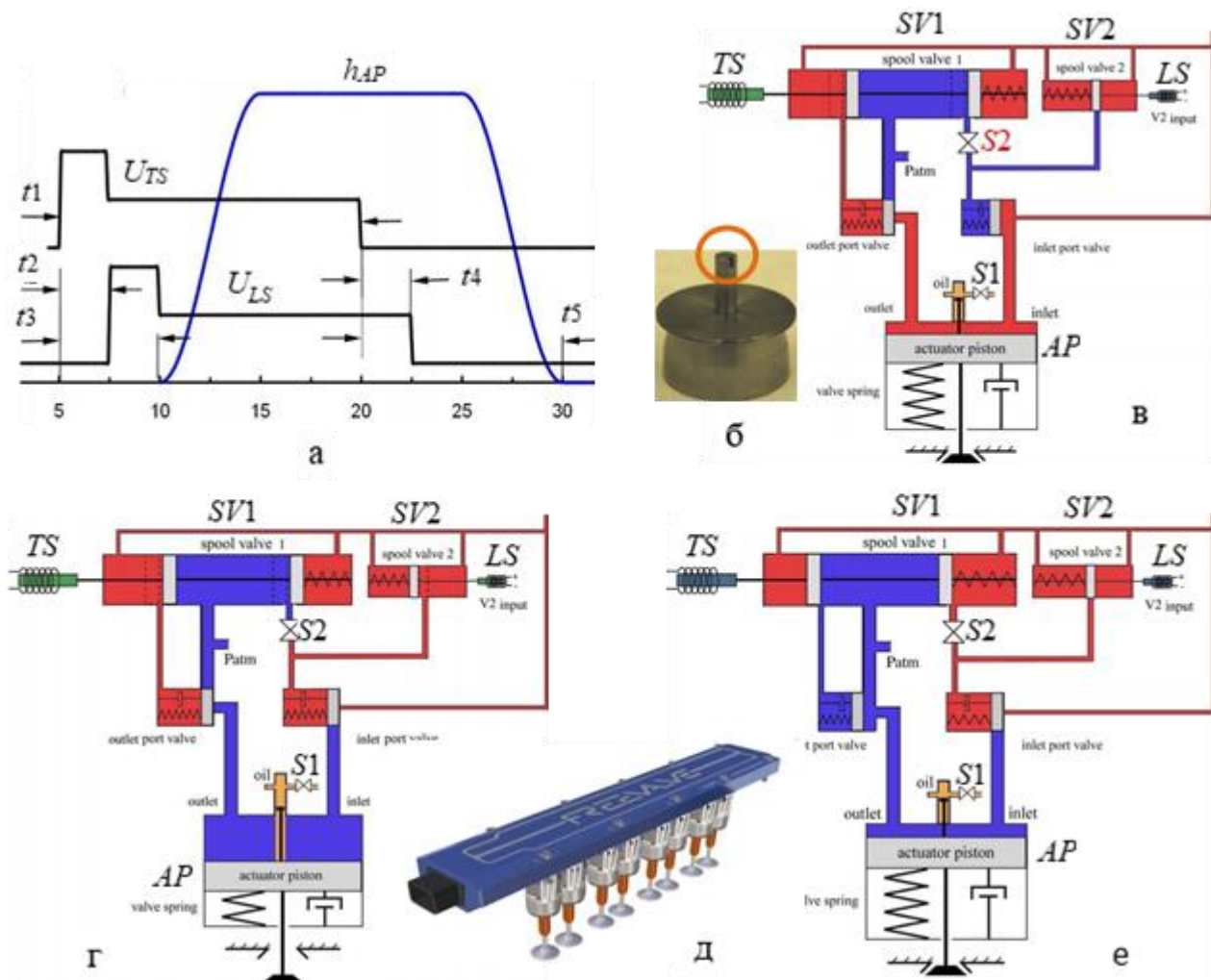


Рис. 2.42. Устрій і функціонування приводу Free Valve:

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

Коли на соленоїд підйому LS подається напруга, він відкриває золотниковий клапан $SV2$, який перешкоджає надходженню повітря (рис. 2.42, г). Однак, оскільки соленоїд синхронізації TS ще не знеструмлений, гідравлічна засувка $S1$ все ще дозволяє потоку проникати в привід, і повітря може розширюватися далі, поки не врівноважить силу пружини та інші фактори опору. Гідравлічна засувка $S1$ фіксує клапан ГРМ на максимальній висоті підйому, запобігаючи потрапляння масла назад в резервуар і утримуючи поршень на місці. Енергія розширення стисненого повітря всередині

циліндра приводу виконує основну роботу по переміщенню поршня *PA* і клапана ГРМ. Час (тривалість) між подачею живлення на соленоїди (час керування підйомом t_2 , рис. 2.42, а) визначає висоту підйому.

Коли соленоїд синхронізації *TS* знеструмлюється, золотниковий клапан *SV1* повертається в нуль, і гідравлічна засувка *S1* знову відкривається. Повітря, що потрапило в циліндр приводу, починає випускатися, і масло може вільно повертатися в резервуар (рис. 2.42, е). Як тільки поршень *AP* наближається до сідла клапана, шток поршня входить в тупикове гніздо в циліндрі компенсатора. При цьому, масло знаходиться в пастці і не може надходити по зворотній лінії в резервуар. У верхній частині штока клапана є невелика щілина, прорізана під кутом до осі (рис. 2.42, б). Чим глибше поршень просувається в глухий кут, тим менше стає перетин щілини, через яке проникає масло (підвищується ефективність гальмування клапана). Сучасні системи Free Valve мають конструкцію рампи, в якій інтегруються комплект приводів, засоби комунікацій і підключень (рис. 2.42, д).

Плюси системи Free Valve:

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

6. Системи відключення циліндрів дозволяють вимикати окремі циліндри на режимах обмеженої потужності ДВЗ. З багатьох способів відключення циліндрів слід виділити кілька основних:

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

На сьогоднішній день широкого поширення набули такі технології відключення клапанів:

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

6.1. Система CRS (Composite Rocker System) являє складене коромисло, основна 3 і додаткова 5 частини якого, замикаються підпружиненим розрізним плунжером 2 (рис. 2.43, а).

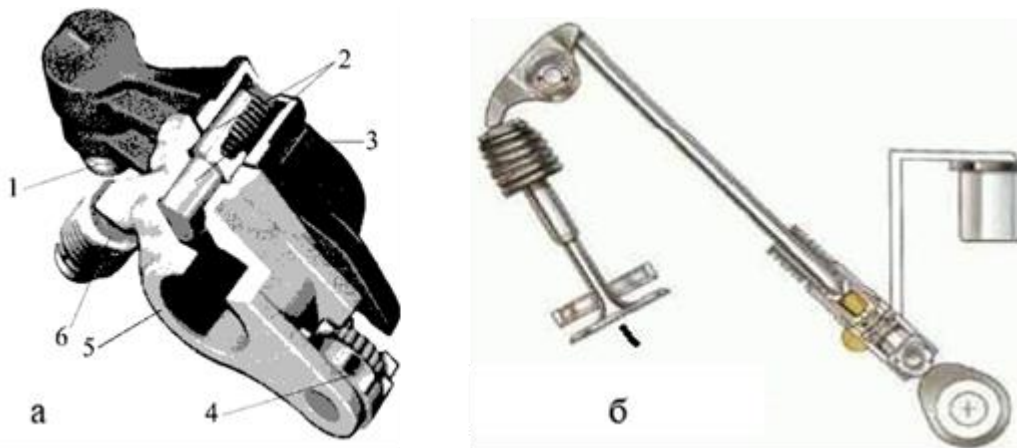


Рис. 2.43. Устрій ГРМ систем відключення циліндрів:
а – з складовим коромислом; б – з відключається штовхачем

Гідромеханічне керування запірним плунжером реалізовано аналогічно системі VTEC. У заблокованому стані коромисла, кулачок РВ, набігаючи на ролик 4 додаткового коромисла, впливає через замикаючий плунжер на основне коромисло і штовхач 1, відкриваючи клапан ГРМ. При виході плунжера з зачеплення, переміщення кулачка РВ компенсуються пружинним елементом 6, основне коромисло залишається нерухомим, а клапан ГРМ знаходиться в закритому стані під дією основної повертаючої пружини.

6.2. Система ACC (Active Cylinder Control) реалізована аналогічно системі VTEC (див. рис. 2.38).

6.3. В системі VCM (Variable Cylinder Management) при рівномірному русі на невеликій швидкості відключається блок циліндрів V-

образного двигуна (3 з 6), а при переході від максимального навантаження до часткового, – забезпечується робота 4-х циліндрів. Алгоритм роботи VCM реалізований на базі системи VTEC (див. рис. 2.38).

6.4. В системі MDS (Multi-Displacement System) використовується штовхач з буферною камерою, в якій реалізується кінематичне роз'єднання РВ і клапана за допомогою блокуючого штифт-фіксатора (рис. 2.43, б). Тиск масла комутується ЕК системи керування.

6.5. Система АСТ (Active Cylinder Technology) забезпечує відключення двох циліндрів з чотирьох в діапазоні 1400...4000 хв⁻¹. Система АСТ базується на системі зміни фаз газорозподілу AVS (див. рис. 2.39). На повідковій муфті задіється профіль «робочого» або «нульового» кулачка.

6.6. В системі VCM (Valve Control Management) використовується електрогідравлічний привід регулювання клапанів для чотиритактних двигунів аналогічно системі Uni Air (див. рис. 2.41, б).

З впровадженням систем відключення циліндрів на ДВЗ різко підвищилася актуальність застосування *активних опор двигуна*, які дозволяють:

- поліпшити динаміку автомобіля за рахунок збільшення зв'язку двигуна з кузовом;
- збільшити тягу завдяки контролю вертикальних переміщень двигуна та трансмісії;
- поліпшити плавність ходу, керуючи низькочастотними вібраціями двигуна.

Конструктивно, активна опора двигуна поєднує гідравлічну опору та електронну систему керування. Залежно від принципу побудови розрізняють магнітореологічну, електровакуумну та електромагнітну структуру активних опор (рис. 2.44).

В активній *магнітореологічній опорі* використовується властивість магнітної рідини змінювати густину (в'язкість) під впливом магнітного поля. Чим сильніше магнітне поле, тим вищий опір рідини і відповідно більша жорсткість опори. Для покращення динаміки автомобіля, опора в потрібний момент стає максимально жорсткою. Для гасіння шуму та вібрацій використовується м'яке сполучення двигуна з кузовом (рамою).

Опора складається з гумометалевої подушки і камери з магнітною рідиною 2, обмеженою діафрагмою 5 (рис. 2.44 а).

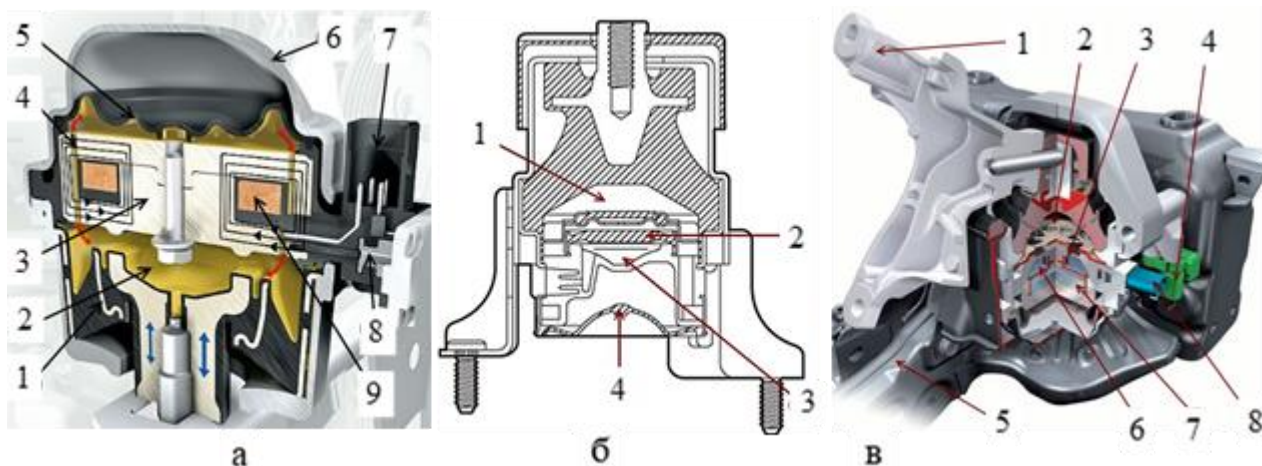


Рис. 2.44. Устрій активних опор двигуна:
а – магнітореологічної; б – електровакуумної; в – електромагнітної

У камері 2 розміщується електромагніт з котушкою 9 і постійним магнітом 3, утворюючи із зовнішнім магнітопроводом перепускний канал 4 з максимальною індукцією в зазорі. У корпусі подушки 6 встановлені датчик тиску рідини 8 та електричний роз'єм зовнішніх підключень 7.

При коливаннях основи опори, магнітна рідина циркулює між нижньою і верхньою порожнинами камери 2 через кільцевий канал 4, з певним ступенем дроселювання, забезпечуючи початкове демпфування коливань. Подача струму в котушку 9 індукує магнітний потік, який доповнює поле постійного магніту та як наслідок, змінює ступінь дроселювання рідини і рівень демпфування коливань.

Електронна система формує сигнали керування обмотками опор на підставі інформації з датчиків: положення дросельної заслінки, швидкості руху автомобіля, частоти обертання коленвала, температури охолоджуючої рідини, положення рульового колеса. Зворотний зв'язок вихідного параметра мехатронної системи здійснюється за допомогою датчика положення 8.

При різних динамічних навантаженнях (бічних, вертикальних, поздовжніх), жорсткість кожної опори окремо збільшується до рівня, що забезпечує максимальну динаміку автомобіля. При перехідних процесах у русі (запуск двигуна, різке відкриття дросельної заслінки, гальмування, перемикавання передач) і навіть під час руху по нерівній дорозі, опора стає м'якою. Цим досягається зниження рівня вібрацій та підвищення комфорту.

Електровакуумна опора застосовується для зменшення вібрацій двигуна на холостому ходу. Опора об'єднує гумометалеву подушку 4, гідравлічну 1 і повітряну 3 камери, розділені діафрагмою 2 (рис. 2.44, б). До повітряної камери через зовнішній електромагнітний перемикаючий клапан (на схемі не показаний) підводиться вакуум із впускного колектора або повітря з атмосфери. Почергове зміна тиску повітряної камери призводить до вібрацій опори.

На підставі сигналу датчика частоти обертання колінчастого валу ЕБК генерує вібрації опори в протифазі до вібрацій двигуна. Відбувається накладання коливань і вібрації двигуна на холостому ходу гасяться. З початком руху автомобіля, електромагнітний клапан перекриває вакуумний канал, активна опора двигуна починає працювати як звичайна гідравлічна опора.

Електромагнітна опора являє гідравлічну камеру 2, відокремлену рухомою діафрагмою 3 (рис. 2.44, в). До діафрагми жорстко кріпиться електромагнітна котушка 6. Краї котушки входять у постійний магніт 7. При подачі напруги, котушка переміщується вгору, захоплюючи діафрагму. При знятті напруги котушка опускається. Рухи діафрагми вгору-донизу змушують опору вібрувати, викликаючи відносні переміщення між точками кріплення до двигуна 1 і кузова 5.

Керування роботою опори здійснює електронна система. Датчик вібрації 4 розташований в опорі, контролює параметри вібрації двигуна, що передаються на кузов. Сигнал від датчика передається в ЕБК поряд із сигналом від датчика обертів колінчастого валу. Відповідно до закладеної характеристики, ЕБК формує сигнали керування котушкою опори, які генерують вібрації з певною амплітудою та частотою в протифазі до вібрацій двигуна. Зовнішні підключення електричних кіл опори здійснюється через роз'єм 8.

2.6. Побудування комплексних систем керування

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

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

У першій групі систем, в єдиному ЕБК формуються сигнали керування виконавчими пристроями за окремими алгоритмами, що оп-

тимізують, в другій, – за об'єднаною програмою керування вприскуванням, запалюванням, і газорозподілом. Інформаційна прив'язка (шини зв'язку) між датчиками і виконавчими пристроями в середовищі ЕБК *Motronic* визначає перелік сигналів вимірювальної інформації (датчики), на основі яких формується сигнал керування кожним виконавчим пристроєм або засобом контролю (рис. 2.45).

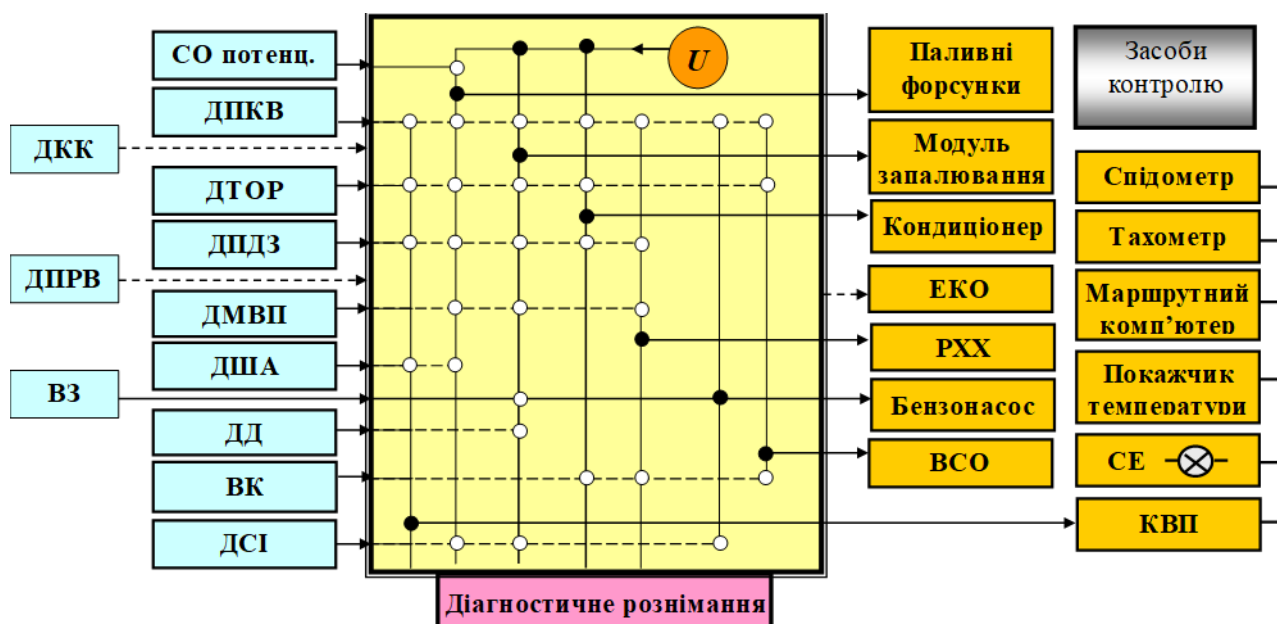


Рис. 2.45. Функціональна структура системи *Motronic*

Електронний блок системи керування, крім сигналів основних датчиків (див. п.п. 2.2), сприймає сигнали: СО-потенциометра; рівня напруги бортової мережі U ; ознаки включення запалювання (ВЗ) і кондиціонера (ВК); санкціонованого доступу системи іммобілайзера (ДСІ). На підставі сигналів датчиків вимірювальної інформації паралельно формуються сигнали для контрольних-вимірювальних приладів (КВП).

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

- не використовується багатопарове вприскування на відміну від GDI (Gasoline Direct Injection) двигунів виробництва Mitsubishi, Toyota, Nissan;
- паливо подається в циліндр зі стисненим повітрям;

- свічка запалювання і інжектор виконані в одному модулі SPI (Spark Plug Injection);
- зазор свічки варіюється ходом поршня;
- використовується система керування паливом з контролем згоряння SCC;
- задіяна система зміни кутового положення кулачка ГРМ (типу VANOS), що забезпечує підтримку стехіометричного складу суміші і внутрішню рециркуляцію ВГ (рис. 2.46).

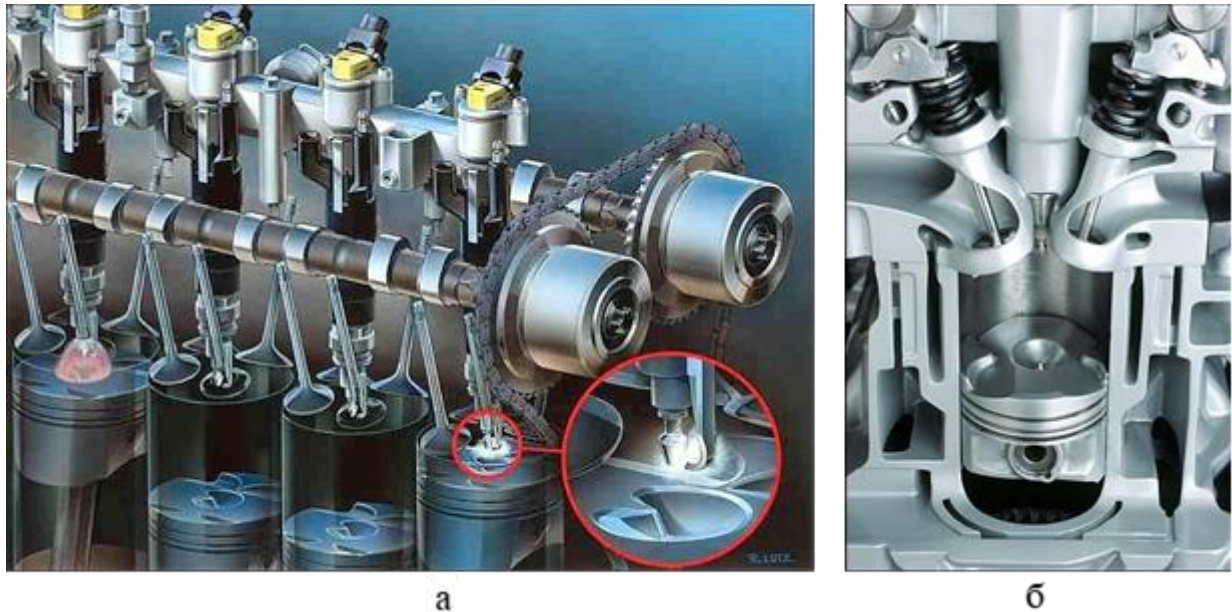


Рис. 2.46. Конструкція двигуна SCC:
а – загальна компоновка; б – композиція циліндра

Під час такту стиснення, через свічку-форсунку вприскується порція стисненого повітря без бензину, створюючи турбулентність потоку для подальшого перемішування горючої суміші. На малих навантаженнях, коли суміш сильно розбавлена ВГ, забезпечується раннє запалення з «довгою» іскрою через бічний електрод. Зі зростанням навантаження, момент запалювання стає більш пізнім, і «довга» іскра «перемикається» через виступ в днище поршня. При цьому, іскровий зазор зменшується від 3,5 до 1 мм.

Точного регулювання обсягу ВГ, які залишаються в циліндрах двигуна SCC (внутрішня рециркуляція), домагаються за рахунок механізмів повороту впускного і випускного РВ шляхом зміни тривалості фази перекриття клапанів. Узгоджена робота систем вприскування, запалювання і ГРМ продемонстрована на рис. 2.47.

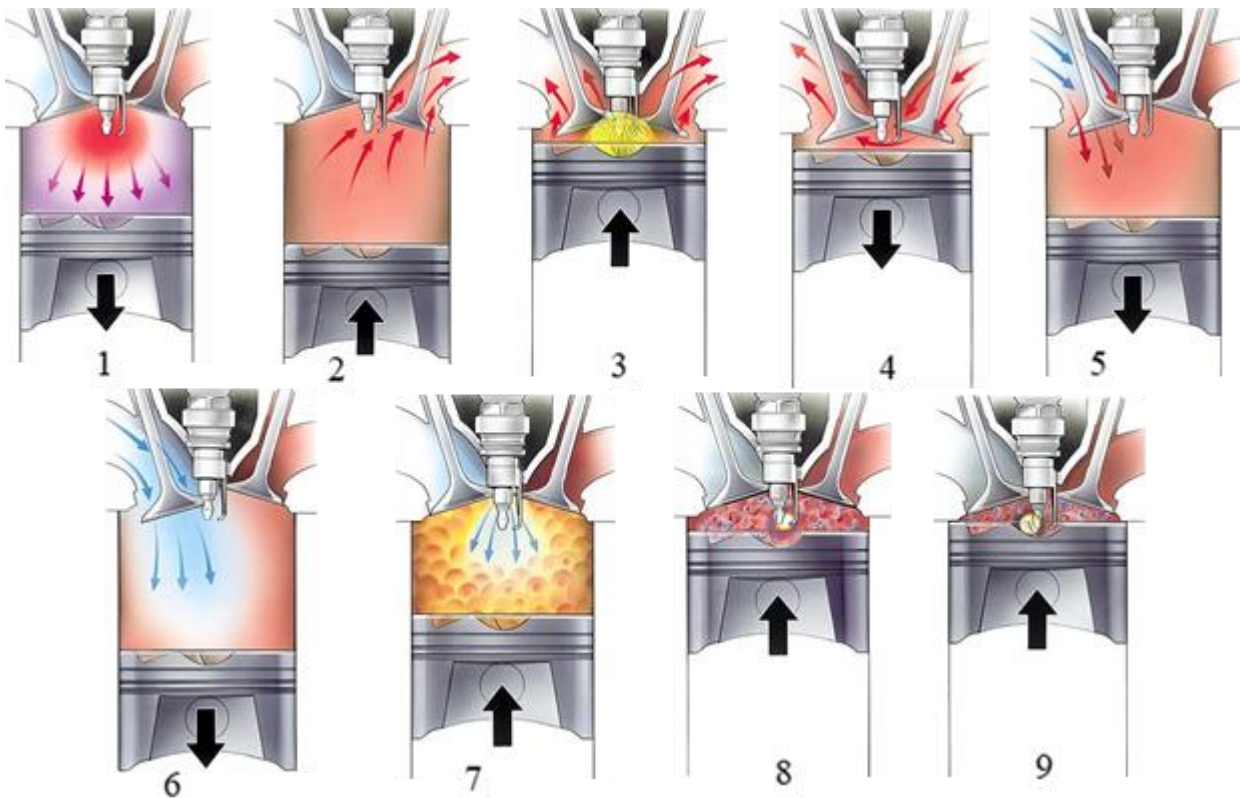


Рис. 2.47. Робочий цикл двигуна SCC:

1 – займання; 2 – випуск; 3 – вприскування; 4, 5, 6 – впуск;
7, 8, 9 – стиснення; 7 – подача повітря; 8 – займання; 9 – горіння

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

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

- з додатковим шатуном (зміна довжини шатуна);
- з нахиленням циліндру (зміна остова);
- з зубчастою передачею (зміна положення робочої зони поршня);
- з траверсою шатуна (зміна ходу поршня);
- з ексцентриками кривошипа (зміна радіуса кривошипа);

- з ексцентриками КВ (зміна положення робочої зони поршня).
Схема VCR з додатковим шатуном показана на рис. 2.48, а.

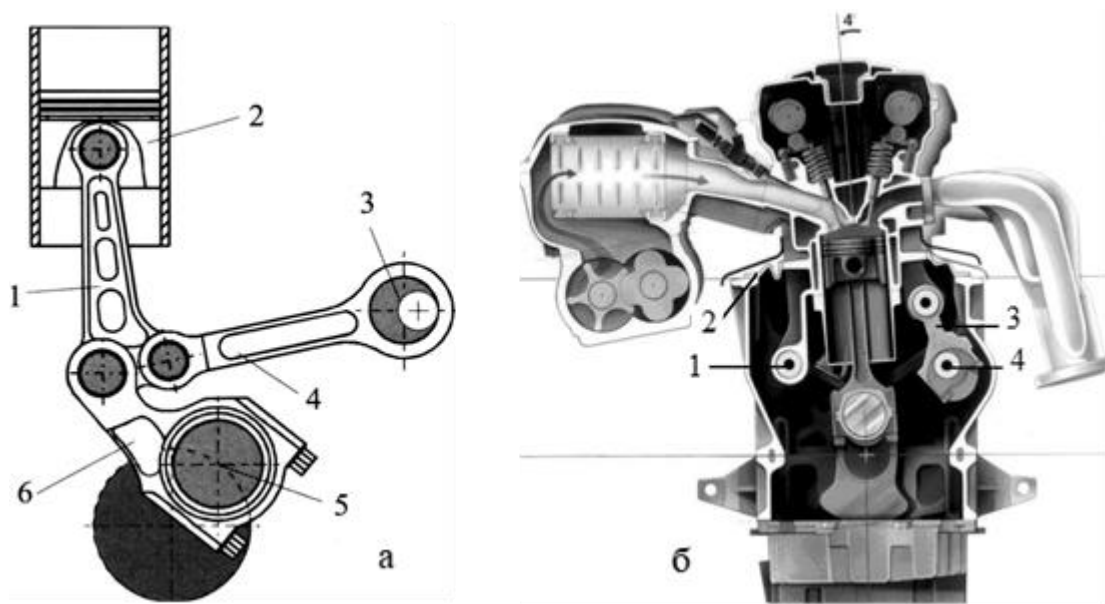


Рис. 2.48. Реалізація систем керування ступенем стиснення ДВЗ:

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

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

Двигун SVC (Saab Variable Compression) складається з двох частин. Верхня частина включає голівку блоку циліндрів, об'єднану з блоком циліндрів в єдиний вузол, який отримав назву «моноголівка». Нижня частина складається з картера, КВ і поршнів (рис. 2.48, б). Моноголівка 2 може відхилитися відносно нижньої половини двигуна, повертаючись навколо горизонтальній осі 1, закріпленої всередині картера. Поворот моноголівки призводить до відхилення її вертикалі,

зміни величини остова двигуна і, як наслідок, об'єму камери стиснення. Вісь обертання розташована таким чином, що для регулювання ступеню стиснення від 8:1 до 14:1 досить змінювати нахил моногільки в межах 4° . Керуючий вплив на голівку реалізується за допомогою додаткового КШМ з гідроелектричним приводом під контролем електронної системи (програмної опції) *SAAB Trionic*. ЕБК системи розраховує ШІМ-сигнал керування ЕК на підставі даних про частоту обертання, навантаження і якість палива. Конструктив моногільки має власні системи змащення й охолодження, а місце її зчленування з картером герметизується гумовим гофрованим чохлом.

Механізм *VCR* двигуна *MCE-5 Development* представляє комбінацію КШМ і зубчастої передачі типу «шестерня-рейка» (рис. 2.49).

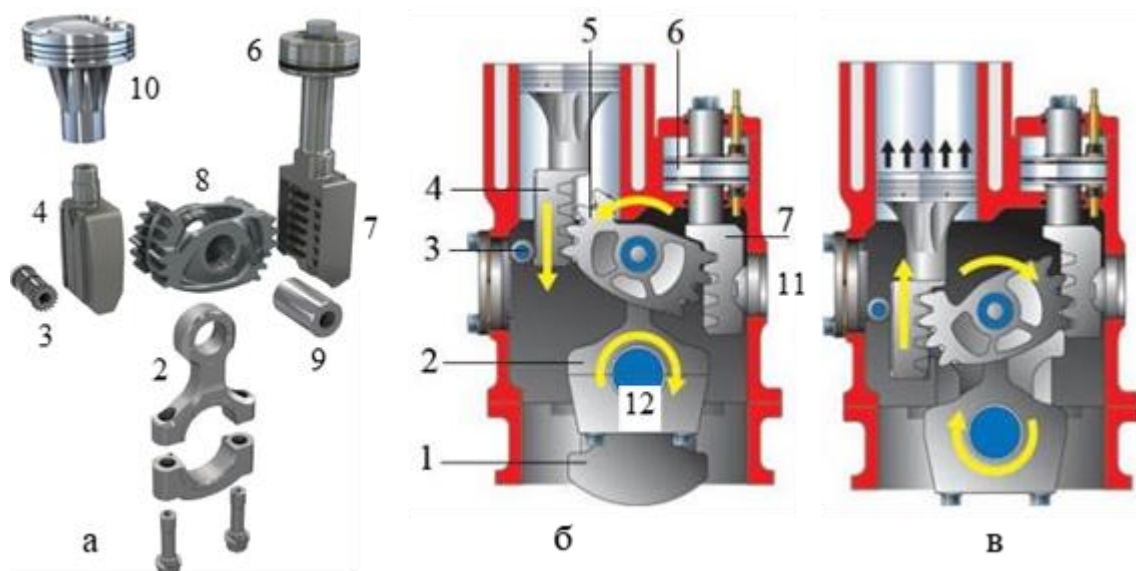


Рис. 2.49. Система зміни ступеню стиснення двигуна МСЕ-5:

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

- 1 – колінчастий вал; 2 – шатун; 3 – зубчастий опорний ролик; 4 – зубчаста рейка поршня; 5 – зубчастий сектор; 6 – поршень керуючого циліндра; 7 – опорна зубчаста рейка керування; 8 – зубчасте коромисло (траверса); 9 – вісь шатуна; 10 – поршень циліндра; 11 – позиційний фіксатор; 12 – шатунна шийка КВ

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

Конструктори Infiniti, представили двигун з технологією VC-T (Variable Compression-Turbocharged), що дозволяє швидко змінювати ступінь стиснення від 8 до 14. У системі застосовано траверсний механізм, що забезпечує рухливе зчленування шатуна з відповідною шийкою КВ. Остання, в свою чергу, пов'язана з системою важелів електроприводу. За командами від ЕБК, електродвигун переміщує тягу, система важелів змінює положення, регулюючи тим самим висоту підйому поршня і, відповідно, змінюючи ступінь стиснення (рис. 2.50).

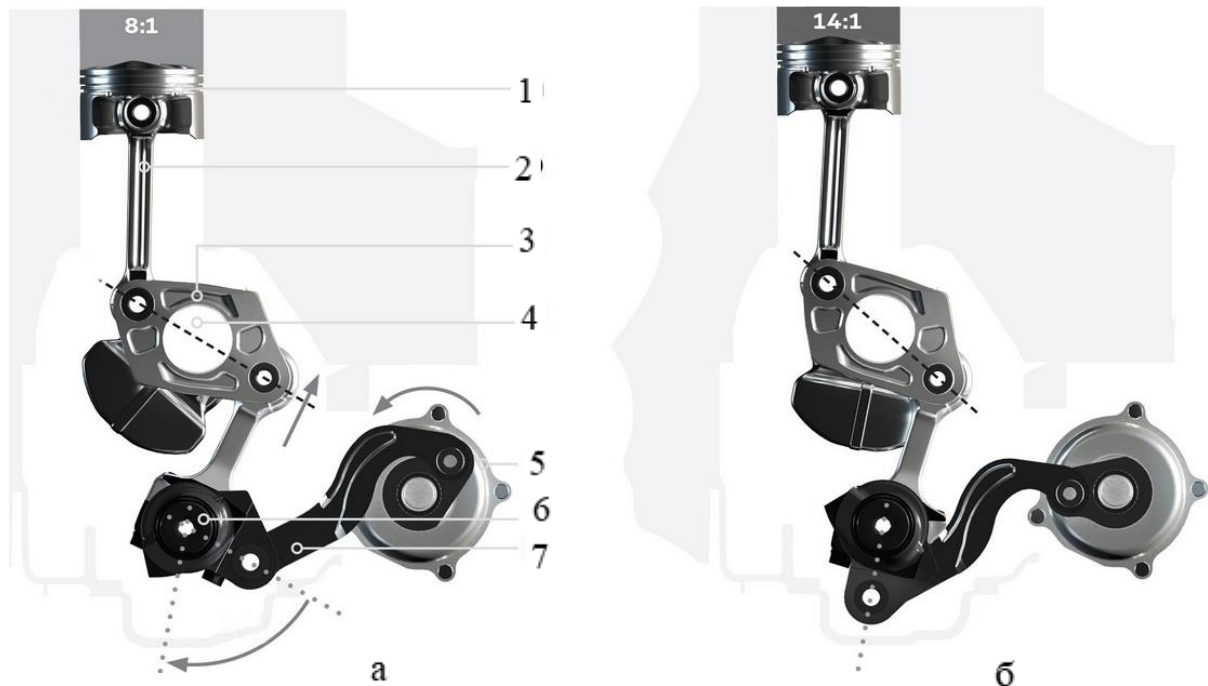


Рис. 2.50. Устрій і функціонування системи VCR мотора Infiniti VC-T:
а – при низькому ступені стиснення; б – при високому ступені стиснення

Зміна ступеню стиснення від 8:1 до 14:1 відбувається наступним чином. За командами ЕБК, електродвигун приводу 5 зрушує тягу актуатора 7, яка повертає проміжний вал 6 із зсувом вниз. При цьому, змінюється кут нахилу траверсної підвіски 3 на шатунній шийці КВ 4, яка визначає висоту підняття шатуна 2 з поршнем 1 в циліндрі. Таким чином, ступінь стиснення коригується за рахунок зміни ходу поршня при фіксованій його позиції в НМТ.

У двигуні *Go Engine* фірми Gomecsus навколо шатунної шийки КВ розміщується рухлива ексцентрикова втулка 1 з зубчастим вінцем 2. Кутове положення втулки 1 змінюється за рахунок повороту

відповідної зубчастої ше-стерні великого діаметру з внутрішнім зачепленням 3 (рис. 2.51, а).

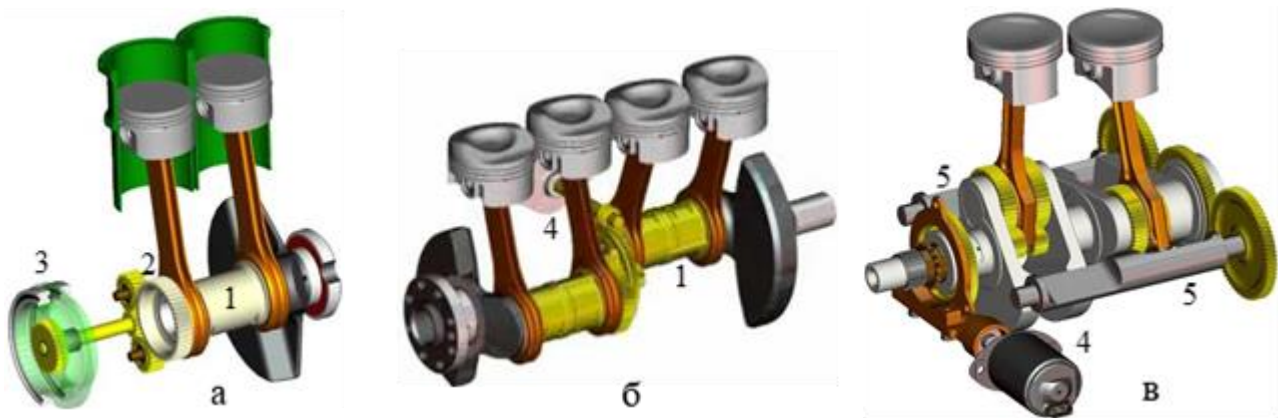


Рис. 2.51. Конструкції двигуна VCR Go Engine з ексцентриковими валами:
а – компоновка ексцентрикової муфти; б – композиція з централізованим керуванням; в – композиція з балансирними валами

Привід ексцентрикової муфти може здійснюватися попарно або централізовано кроковим електродвигуном 4 через черв'ячну передачу (рис. 2.51, б). Таким чином, обертання валу актуатора призводить до зміни радіусу кривошипа і як наслідок, – до корекції ступеню стиснення в циліндрі. Дисбаланс ДВЗ, що виникає при цьому, компенсується балансирними валами 5 (рис. 2.51, в).

В системі VCR Motorentechnik, розробленої інженерами німецької компанії FEV, реалізується керування висотою підйому КВ з регулюванням ступеню стиснення в діапазоні від 8 до 16. Регулювальний вал обертається кроковим електродвигуном 1. Зміна положення осі обертання КВ компенсується двома ексцентриковими муфтами. Одна, з'єднує вал з маховиком, інша – зі шківом. Опорні шийки КВ, розміщені в ексцентрикових муфтах, які приводяться в дію актуатором (аналогічно рис. 2.51). Коли ексцентрики повертаються, КВ піднімається або опускається, і як наслідок, змінюється висота підйому поршнів і відповідно ступінь стиснення.

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

2.7. Особливості будови газових паливних систем

На даний час розглядають шість поколінь газобалонного обладнання (ГБО), яке встановлюється на автомобілі у якості альтернативної системи живлення ДВЗ. Розрізняють ежекційні (ГБО-1, ГБО-2) та інжекційні (ГБО-3...ГБО-6) системи живлення, які встановлюються відповідно на карбюраторні та інжекторні бензинові двигуни. Друга група ГБО включає ЕБК мікропроцесорної системи керування і відповідає атрибутам мехатронної системи.

Третє покоління ГБО-3 застосовується на автомобілях з інжекторними ДВЗ, які обладнані системою розподіленого впорскування палива з датчиками кисню (моделі класу Євро 2, 3). Система складається з переліку позаштатних пристроїв (рис. 2.52).

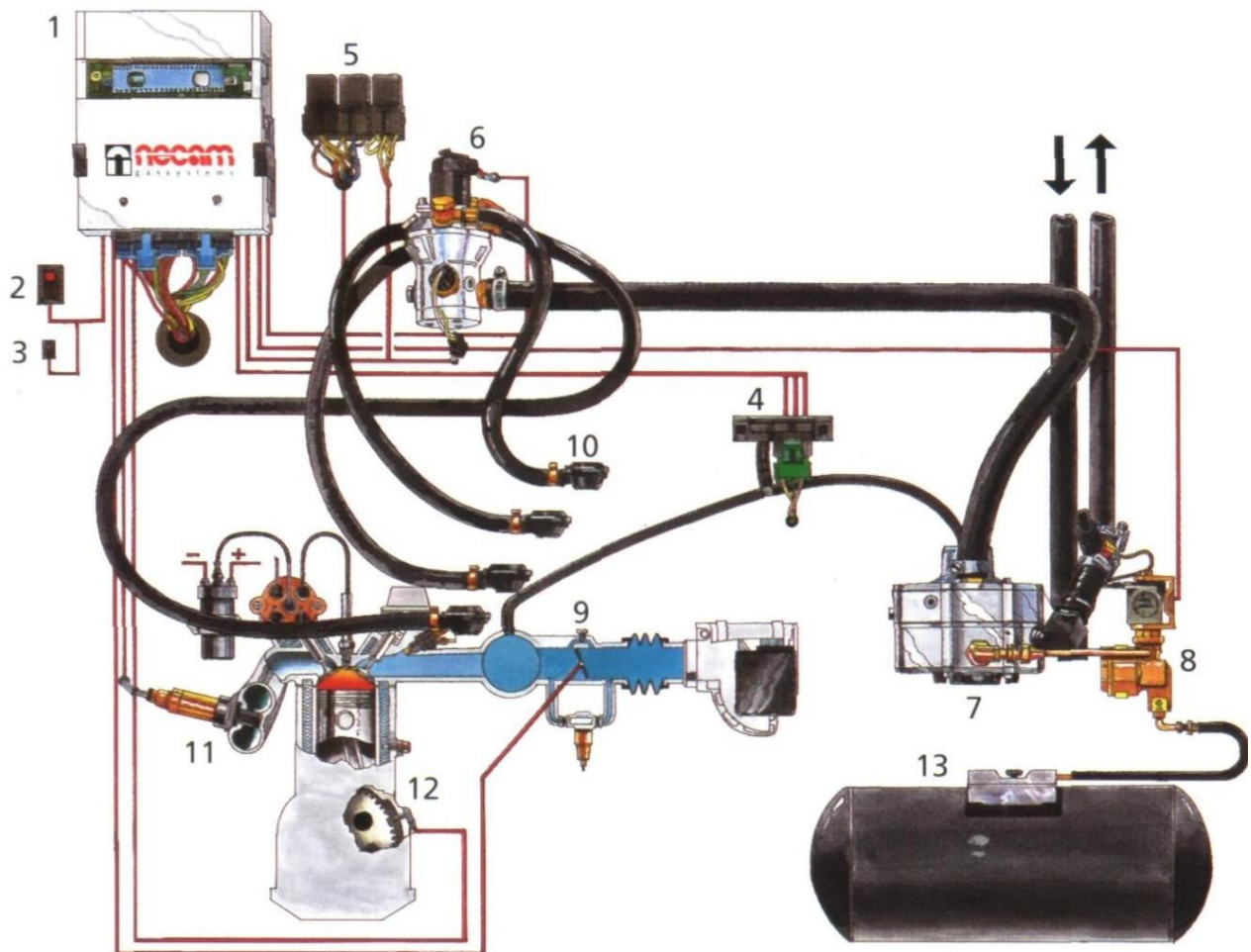


Рис. 2.52. Компоновка ГБО третього покоління:

- 1 – ЕБК; 2 – перемикач газ/бензин; 3 – діагностичний роз'єм; 4 – комбінований датчик; 5 – виконавчі реле; 6 – розподільник газу; 7 – редуктор-випарювач; 8 – електромагнітний газовий клапан; 9 – датчик ДПДЗ; 10 – механічні газові форсунки; 11 – датчик ДКК; 12 – датчик ДПКВ; 13 – газовий балон з механічним вентилем

Газовий балон 13 містить зріджений газ, який заправляється через виносний пристрій. Редуктор випарювач 7 перетворює газ рідкого стану до газоподібного з пониженням тиску. Електромеханічний розподільник дозатор з кроковим електродвигуном та електроклапаном 6 регулює подачу газу у змішувач та здійснює розподіл газової суміші по газовим форсункам 10 (циліндрам).

Електронний блок 1 системи ГБО-3 формує сигнали керування кроковим електродвигуном 6 та електроклапаном розподільника газу на підставі інформації з комбінованого датчика 4 (тиск та температура у випарювачі 7) та датчиків системи керування ДВЗ: ДКК, ДПКВ, ДПДЗ, які переключаються з штатної системи керування бензиновим ДВЗ до ЕБК газової системи. Щоб виключити реакцію діагностичної системи, інтегрованої в штатному ЕБК, відключення бензинових форсунок компенсується підключенням блоку симуляторів (активних еквівалентів навантаження).

Алгоритм функціонування системи такий. Двигун в будь якому положенні перемикача 2 запускається на бензині, а потім з прогрівом, автоматично переходить на живлення газом (при відповідному положенні перемикача 2). Далі ЕБК 1 через реле 5 відключає бензинові форсунки і подає зріджений газ з балона 13 через клапан 8 в редуктор 7, де він випарюється з пониженням тиску. Газоподібне паливо надходить в розподільник 6 де і відбувається дозування газу по форсунках (циліндрах).

Переваги ГБО-3 перед системами попередніх поколінь:

- зниження ступеня детонаційного пошкодження двигуна та зносу ЦПГ;
- зниження витрати газу та токсичних вихлопів;
- можливість перемикатися з одного виду палива на інший;
- спрощене кріплення багатьох комплектуючих системи;
- відсутність хлопків у впускному колекторі;
- ЕБК здійснює оптимальну подачу суміші у двигун.

Недоліки ГБО-3:

- складна у налаштуванні;
- виникнення конденсату у редукторному випарнику;
- часте ТО через знос фільтра;
- повноцінно працює лише на інжекторі;
- балон займає багато місця у багажнику;

- ДВЗ запускається тільки на бензині;
- повільна реакція ЕБК.

Система ГБО-4 передбачає використання компримованого метану або зрідженого пропан-бутану газів, які зберігаються під тиском в балоні тороїдної форми (рис. 2.53, г).



Рис. 2.53. Компоненти ГБО 4: а – редуктор; в – блок керування; б – рампа газових форсунок; г – газовий балон; д – газовий фільтр; е – датчик розрідження, тиску і температури газу; ж – мультиклапан

Редуктор (рис. 2.53, а) знижує тиск газу до потрібних значень та під надлишковим тиском постійно прокачує його через рампу газових електромагнітних форсунок (рис. 2.53, в).

Мультиклапан (рис. 2.53, ж), який встановлюється у горловину газового балона виконує декілька функцій:

- наповнення ємності до безпечної кількості газу (до 80 %);
- зберігання газу під тиском;
- відведення надлишкового тиску спричинене підвищенням температури газу за межі авто;
- запобігання витоків газу при обривах магістралі;
- контроль рівня палива;
- попереднє очищення палива.

Мультиклапан поєднує: вхідний канал зі зворотним клапаном; електромагнітний клапан запірного вентиля; клапан відсічки зарядження балону; аварійний клапан стравлювання надлишкового тиску; швидкісний клапан запобігання витокам; температурний клапан відведення надлишкового тиску; поплавковий електромеханічний датчик рівня палива із забірником та фільтром попередньої очистки.

Комбінований датчик (рис. 2.53, е) використовується для вимірювання вакууму у впускному колекторі ДВЗ, тиску та температури газу в рампі форсунок. Застосовується для зрідженого (LPG пропан-бутан) та стисненого (CNG метан) газу.

Електронний блок (рис. 2.53, б) системи формує сигнали керування газовими форсунками на підставі інформації з комбінованого датчика та датчиків системи керування ДВЗ: ДКК, ДПКВ, ДПДЗ, ДТОР. Режими керування системою запалювання (характеристичні карти моментів запалювання) не адаптуються під особливості згоряння газоповітряної суміші.

Переваги ГБО-4:

- використовується під різні види газу (компримованого метану та зрідженого пропан-бутану);
- використання і на бензинових, і на дизельних двигунах.
- вартість ГБО 4 приблизно в рази дешевше ніж вартість ГБО 5.
- доступність комплектуючих та запасних частин.

Єдиний недолік ГБО 4-го - це неможливість установки на двигуни з технологією безпосереднього впорскування палива в циліндри (TSI, TFSI, DGI).

Газобалонне обладнання 5-го покоління – це технологія дозованого впорскування зрідженого газу. У ГБО-5, на відміну від ГБО-4, газ не перетворюється на газоподібний стан, а завжди використовується в рідкому вигляді (пропан-бутан) від заправки у балон до впорскування у двигун. Для утворення стабільного тиску в газовій магістралі, використовується газовий насос 14, який розміщується в газовому балоні 15 (рис. 2.54).

Все інше, що пов'язано з алгоритмом функціонування ГБО-5, аналогічно системі ГБО-4.

Переваги системи ГБО-5:

- можливість запуску ДВЗ на газу завдяки газовому насосу;
- відсутність редуктора і фільтра газової фази;

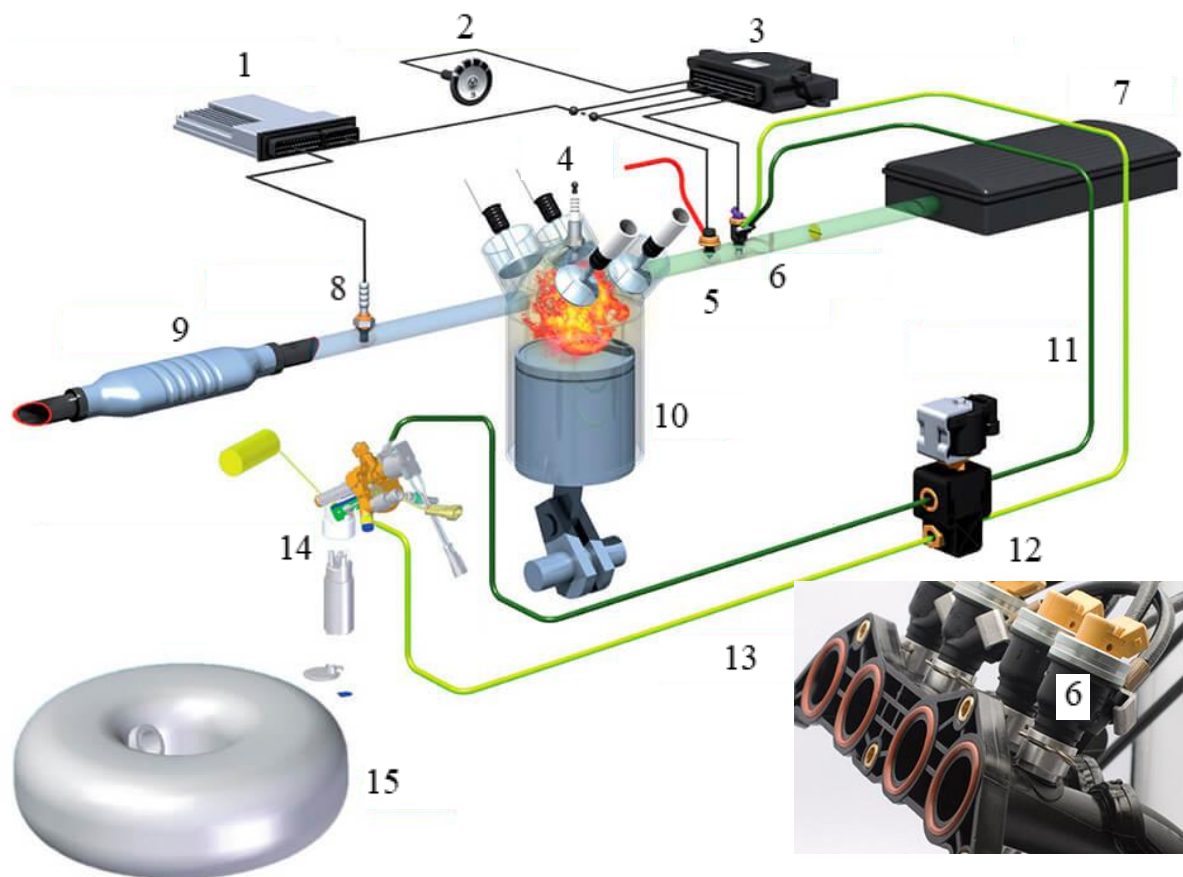


Рис. 2.54. Комплектація та компонування ГБО 5-го покоління:
 1 – ЕБК бензинового ДВЗ; 2 – перемикач газ/бензин; 3 – газовий ЕБК; 4 – свіча запалювання; 5 – бензинові форсунки; 6 – газові форсунки; 7 – повітряний фільтр; 8 – датчик ДКК; 9 – каталізатор; 10 – камера згоряння; 11 – газопровід; 12 – стикувальний вузол газопроводу; 13 – трубопровід повернення газу; 14 – мультиклапан з газовим насосом; 15 – газовий балон

Недоліки системи ГБО-5:

- малий ресурс паливного насоса через наявність домішок у газі;
- висока вартість насоса (дві третини вартості всієї системи);
- висока ціна комплекту (у рази більша ніж у ГБО-4);
- несумісність із газоподібним метаном.

Установка ГБО-5 можлива на інжекторні ДВЗ з впорскуванням палива безпосередньо у циліндри ДВЗ (D-Jetronic).

Шосте покоління ГБО-6 можна встановлювати на автомобілі в яких використовуються ДВЗ з безпосереднім впорскуванням палива (TSI, FSI, TFSI, GDI). Основна відмінність від попереднього ГБО-5 полягає в тому, що впорскування зрідженого газу відбувається через штатні бензинові форсунки 5 (рис. 2.55).

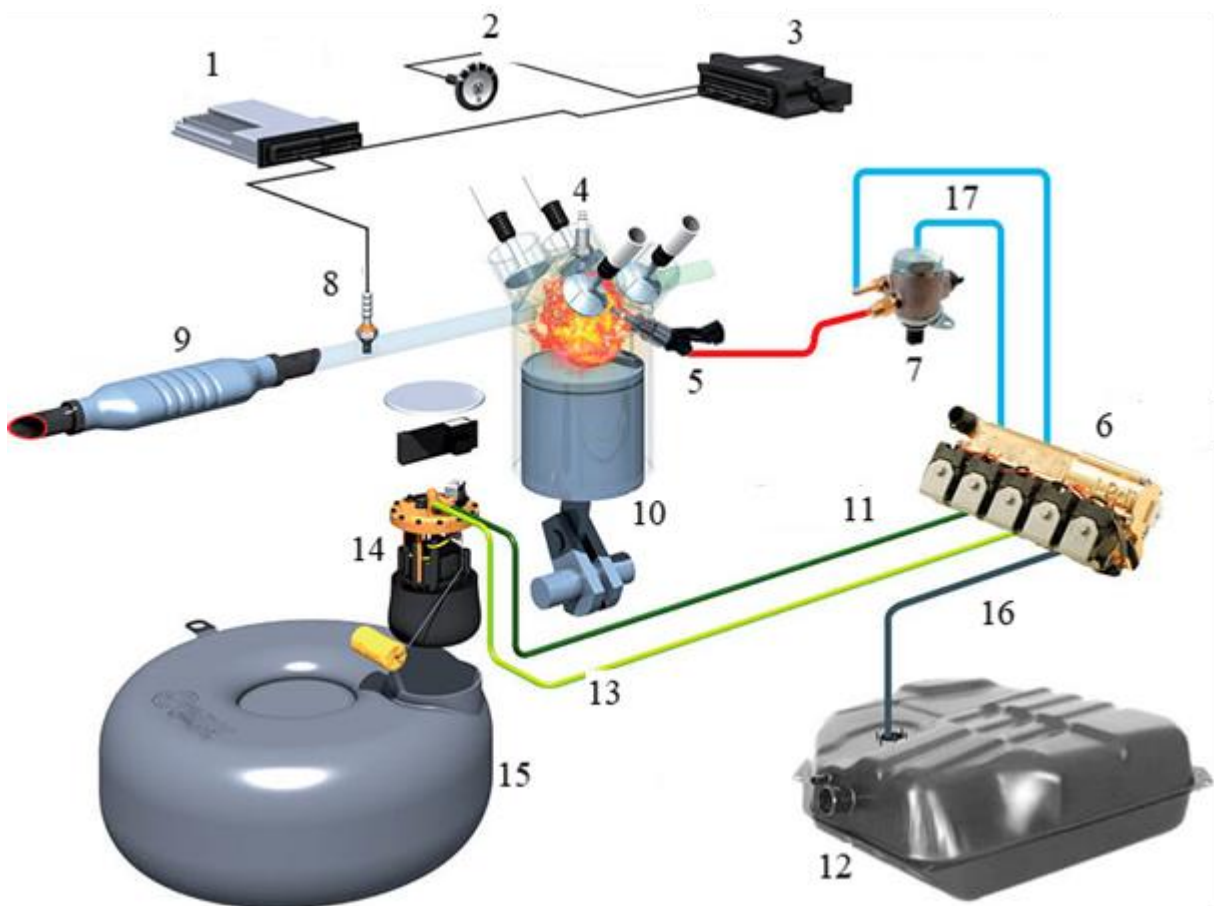


Рис. 2.55. Комплектація та компонування ГБО 6-го покоління:

- 1 – ЕБК бензинового ДВЗ; 2 – перемикач газ/бензин; 3 – газовий ЕБК; 4 – свіча запалювання; 5 – бензинові форсунки; 6 – модуль селекції палива;
 7 – паливний насос високого тиску; 8 – датчик ДКК; 9 – каталізатор;
 10 – циліндр; 11 – газопровід; 12 – бензобак; 13 – трубопровід повернення газу;
 14 – мультиклапан з газовим насосом; 15 – газовий балон
 16 – бензопровід; 17 – подача та повернення альтернативних палив

Робота такої системи складається з наступних фаз.

1. При запуску двигуна, насос газового обладнання 14 починає одразу закачувати газ, який знаходиться у зрідженому стані. Внаслідок роботи насоса збільшується тиск, і газ не переходить у газоподібний стан.

2. Газ, що подається з балона, надходить до модуля селекції виду палива 6. Відбувається перехід із бензину на газ, і газ починає надходити за бензиновою системою 17. При проході через ПНВТ 7 відбувається коригування тиску до потрібних значень.

3. Газ надходить на бензинові форсунки 5, при цьому, відбувається їхнє охолодження та змащування. Це захищає форсунки від швидкого забруднення розпилювачів.

4. Зайвий об'єм газу по зливній магістралі 13 прямує знову в газовий балон 15.

Переваги ГБО-6:

- обладнання максимально інтегроване до штатної паливної магістралі з використанням бензинових форсунок;
- повний контроль дозування палива, що забезпечує економне споживання газу та стабільну роботу двигуна;
- при переході на газ, потужнісні показники автомобіля не змінюються, а встановивши варіатор випередження запалення можна досягти повного згоряння палива, що надходить у циліндри, що призведе до підвищення потужності двигуна;
- немає необхідності проводити прогрівання двигуна при переході на газ, автомобіль залишається весь час монопаливним, оскільки бензин і газ надходять у рідкому стані.
- при експлуатації автомобіля можна виключити його заправку бензином, тому що двигун легко заводиться відразу на газу;
- мінімум деталей та легка установка на двигун;
- скорочення викидів шкідливих речовин мінімум на 20%.

Недоліки ГБО-6:

- мінімальний ресурс паливного насоса через наявність домішок у газі;
- висока вартість насоса - третина вартості всієї системи;
- висока ціна комплекту – у рази більша ніж у ГБО 4-го покоління.

Контрольні запитання

1. Наведіть класифікацію систем керування ДВЗ?
2. Наведіть приклади лінгвістичної моделі функціональних систем керування ДВЗ.
3. Дайте загальну характеристику датчиків систем керування ДВЗ.
4. Дайте загальну характеристику виконавчих пристроїв систем керування ДВЗ.
5. Поясніть способи реалізації керуючих впливів системи додаткової подачі повітря на ХХ.
6. Поясніть способи реалізації керуючих впливів системи впуску повітря ДВЗ.
7. Визначить класифікаційні ознаки системи керування впорскуванням палива бензинових ДВЗ.
8. Поясніть способи реалізації силової частини систем запалювання ДВЗ.
9. Поясніть функції та варіанти структур МС охолодження ДВЗ.

10. Наведіть класифікацію систем керування газорозподілом за загальними ознаками.
11. Поясніть принципи будови ДВЗ зі змінням ступеню стиску в циліндрах?
12. Поясніть структуру і функціонування систем екологічного призначення, які застосовуються на ДВЗ автомобіля?
13. Поясніть комплектацію варіантних систем рециркуляції ВГ в бензинових ДВЗ.
14. Поясніть функціонування системи впорскування палива типу KE-J.
15. Поясніть функціонування системи впорскування палива типу Mono-J.
16. Поясніть функціонування системи впорскування палива типу L-J.
17. Назвіть відзнаки систем розподіленого імпульсного впорскування палива різного типу LE-J, LH-J, LD-J, D-J.
18. Наведіть режими імпульсного вприскування палива в інжекторних ДВЗ.
19. Поясніть особливості улаштування і функціонування системи впорскування палива типу D-J.
20. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ з тангенціальною корекцією РВ.
21. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ з підйомом клапанів.
22. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ зі зміною профіля кулачка.
23. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ з автономними електромагнітними приводами.
24. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ з автономними гідроелектричними приводами.
25. Поясніть устрій і функціонування МС ГРМ з автономними комбінованими приводами за технологією Free Valve.
26. Перелічить методи та способи реалізації МС відключення циліндрів.
27. Поясніть комплектацію і функції комплексної системи керування бензиновим ДВЗ типу Motronic.
28. Поясніть процес керування робочим циклом бензинового ДВЗ за SPI-технологією в комплексних МС Saab Trionic.
29. Поясніть способи реалізації МС змінення ступеню стиску в циліндрах ДВЗ.
30. Назвіть виконавчі пристрої для реалізації керуючих впливів в МС зі змінням стиску в циліндрах ДВЗ.

3. Особливості будови мехатронних систем дизельних ДВЗ

3.1. Особливості конструкції і робочих процесів в дизелях

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

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

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

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

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

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

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

- педаль акселератора керує (змінює потужність) не поданням повітря (положенням дроселя), а цикловою подачею палива (дозатором);
- вприскування палива відбувається дозовано, безпосередньо у циліндри під високим тиском і в певний момент;
- керування додатковими системами турбонадува і полегшення пуску;
- попереднє прокачування палива при заповненні порожнього бака;
- перемикання передач у вузькому діапазоні робочих характеристик;
- виникнення вібрацій на перехідних режимах;
- зниження ресурсу паливної апаратури при перегріванні дизеля.

Для оптимізації характеристик дизельних двигунів використовуються різні підходи:

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

Така оптимізація керуючих впливів на дизельний ДВЗ реалізується за допомогою систем електронного керування EDC (Electronic Diesel

Control) різної будови. За способом реалізації впорскування палива в дизельних двигунах з EDC розрізняють системи:

- з керованою рейкою рядного ПНВТ типу PE;
- з ПНВТ розподільного типу VE з аксіальним плунжером;
- з ПНВТ розподільного типу VP роторні;
- з насос-форсунками типу UIS (Unit Injector System);
- з індивідуальними ПНВТ тип UPS (Unit Pump System);
- з паливними акумуляторами типу CR (Common Rail).

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

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

Використовуючи ці робочі параметри (змінні), ЕБК не тільки розраховує кількість палива, що впорскується, але й може також змінювати момент початку впорскування палива (тобто кут випередження впорскування). Це означає, що може бути застосований всебічний захисний метод, при якому визначаються відхилення параметрів і, залежно від їх важливості, ініціюються відповідні контр-мери. Система EDC включає в себе певну кількість контурів керування зі зворотним зв'язком.

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

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

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

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

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

де k_i – коефіцієнти ідентифікації функції керування.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для запуску дизельного ДВЗ потрібна значна енергія, особливо при низьких температурах навколишнього середовища. Щоб знизити розрахункову потужність пускової установки, на дизелях застосовують системи передпускового підігріву (до включення стартера) і полегшення пуску (після включення стартера) ДВЗ з електричними нагрівачами, розміщеними в робочих об'ємах (циліндрі, магістралях подачі палива і повітря) двигуна. Підключення свічок накалювання СН до АКБ, після повороту замка ВЗ в перше положення, проводиться автоматично по командам ЕБК з урахуванням температури підкапотного простору t° . Розглянемо приклад трьох ступеневої системи підігріву з електронним керуванням (рис. 3.1).

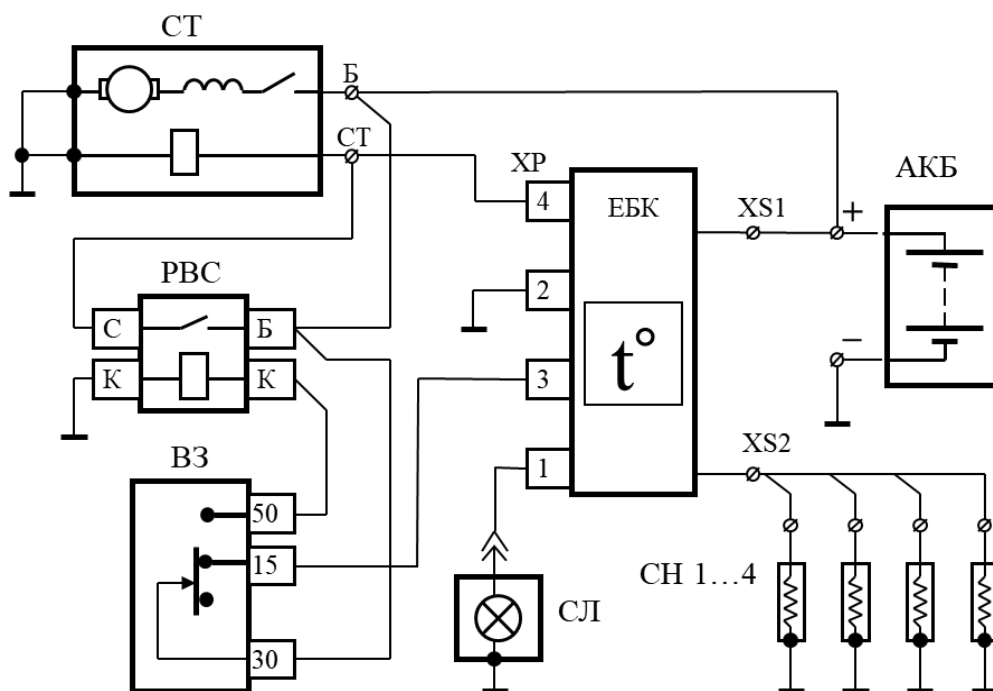


Рис. 3.1. Схема системи передпускового підігріву і полегшення пуску

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

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

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

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

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

У системах турбонаддуву застосовуються турбіни з різним типом приводу (рис. 3.2).

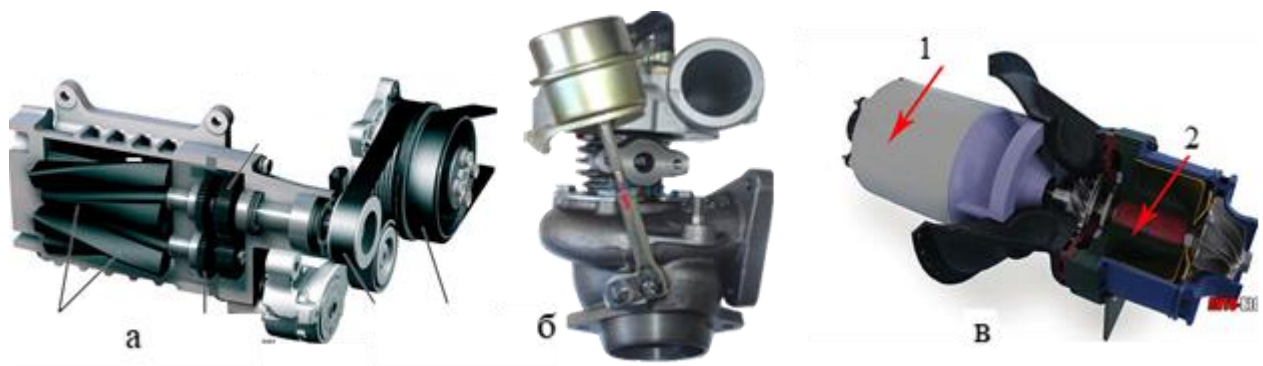


Рис. 3.2. Пристрої турбонадування дизелів:

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

Турбонагнітач являє роторний компресор з механічним приводом від ДВЗ (рис. 3.2, а). Недолік – частина потужності ДВЗ йде на забезпечення роботи самого компресора. Тому, двигун заданої потужності, має більшу витрату палива.

Турбокомпресор (газотурбінний нагнітач), заснований на використанні енергії ВГ, які спрямовані на привід турбіни (рис. 3.2, б). Перевага – відсутній механічний зв'язок з валом двигуна (малі втрати потужності ДВЗ на привід).

Способи керування продуктивністю турбонадування:

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

Комбінований спосіб надування поєднує механічний і газовий турбонаддув. На низьких обертах ДВЗ, підключається механічний нагнітач. З ростом обертів вступає в дію турбокомпресор, а механічний нагнітач відключається.

Турбокомпресор з електроприводом 1 турбіни 2 (рис. 3.2, в) дозволяє забезпечити турбонаддув на будь-яких експлуатаційних режимах ДВЗ з гнучким керуванням продуктивністю компресора (тиском повітря на вході ДВЗ).

Керування продуктивністю турбокомпресора, в більшості випадків, реалізується за допомогою лінійних пневмоприводів клапанів або засувок встановлених в каналі, який шунтує турбінну секцію компресора (рис. 3.3, а).

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

Система двоступеневого турбонаддуву складається з двох турбокомпресорів різного розміру, встановлених послідовно у випускному і впускному трактах. Керування потоками газів в системі реалізується аналогічним чином (рис. 3.3, б).

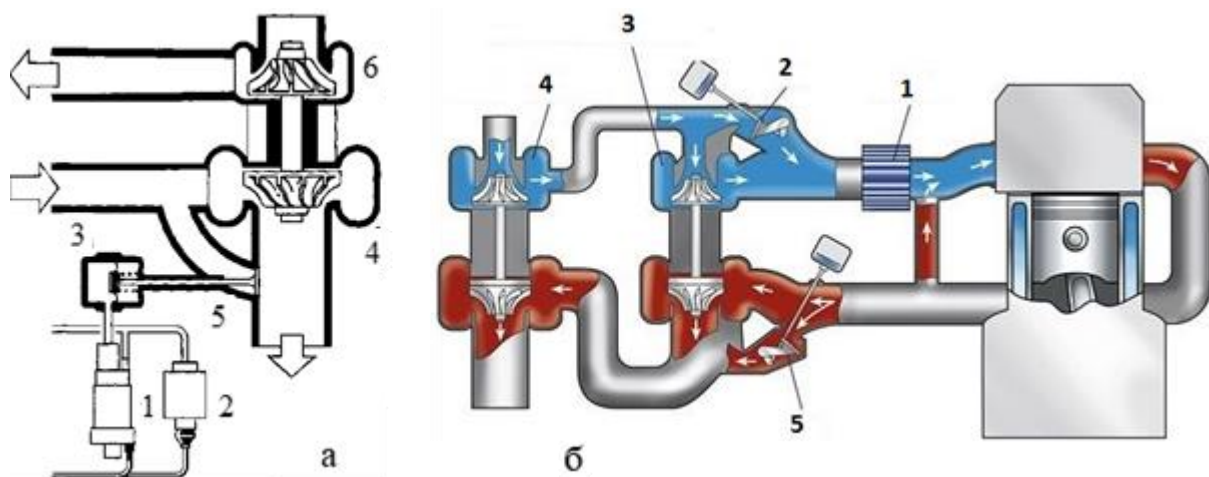


Рис. 3.3. Системи турбонаддуву:

- а* – одноступенева з керованим клапаном: 1 – пневматичний ЕК; 2 – електровакуумний насос; 3 – пневмопривід клапана ВГ; 4 – газова турбіна; 5 – перепускний клапан; 6 – компресорне колесо;
- б* – двоступенева з керованими заслінками: 1 – інтеркулер повітря, що нагнічується; 2 – перепускний клапан повітря, що надувається; 3 – турбокомпресор ступені високого тиску; 4 – турбокомпресор ступені низького тиску; 5 – перепускний клапан ВГ

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

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

При повному навантаженні, клапан 5 відчинений повністю. Велика турбіна розкручується до максимальної частоти, а мала – зупиняється. При цьому, відчиняється клапан наддування 2 і стиснене повітря під тиском компресора 4 надходить безпосередньо до двигуна. Таким чином, система двоступеневого наддування усуває відоме протиріччя дизельних двигунів між високим крутним моментом на низьких обертах і максимальною потужністю на високих обертах. В результаті,

номінальний крутний момент досягається швидко і підтримується в широкому діапазоні обертів двигуна, забезпечуючи максимальне підвищення потужності.

Турбокомпресор із змінною геометрією турбіни, застосовуваний в двигунах TDI (Turbocharged Direct Injection), має дві загальноприйняті назви, які використовуються різними виробниками: VGT (Variable Geometry Turbocharger – турбокомпресор із змінною геометрією) застосовує Borg Warner і VNT (Variable Nozzle Turbine – турбіна зі змінним соплом) застосовує Garrett [31].

На відміну від звичайного турбокомпресора, VGT-турбокомпресор може регулювати напрям і величину потоку ВГ, чим досягається оптимальна частота обертання турбіни і відповідно продуктивність компресора. VNT-турбіна поєднує напрямні лопатки 1, механізм керування 2 і вакуумний привід 3 (рис. 3.4, а).

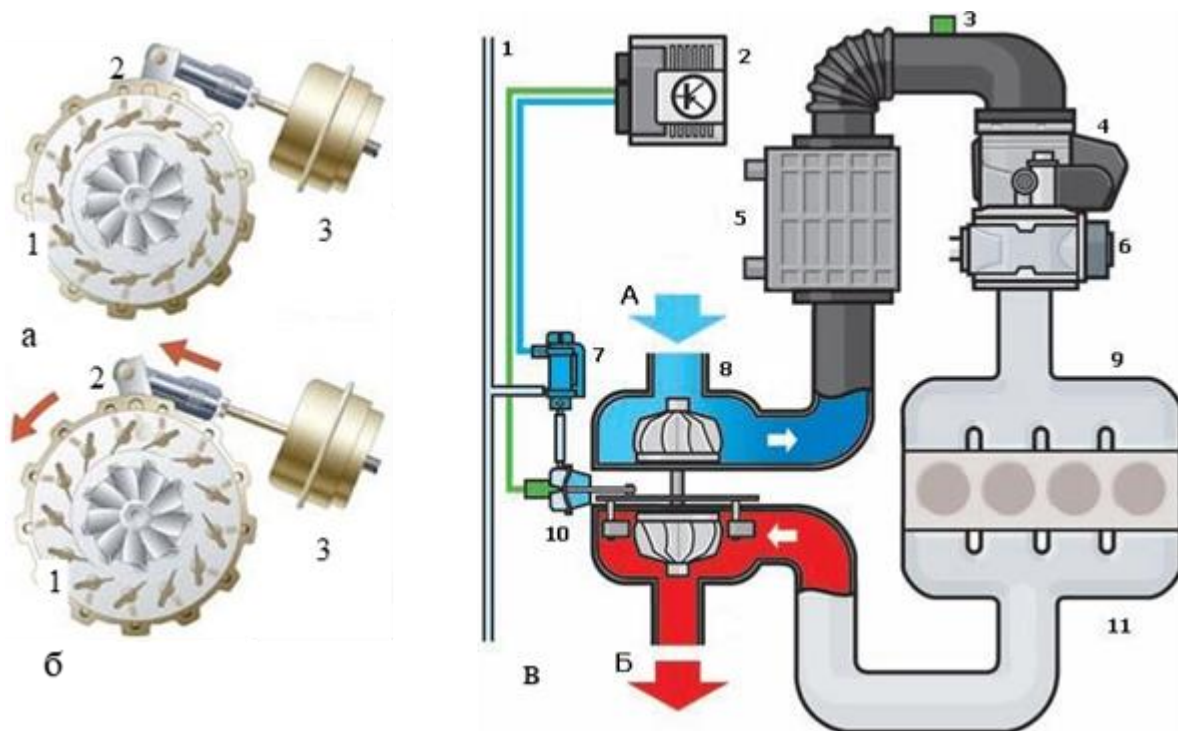


Рис. 3.4. Система наддування із змінною геометрією турбіни:

- а, б* – положення лопаток в діапазоні регулювання: 1 – газо-забірні лопатки турбіни; 2 – механізм керування; 3 – пневмопривід;
- в* – *схема системи*: 1 – пневмопривід; 2 – ЕБК двигуна; 3 – датчики тиску наддування і температури повітря на впуску; 4 – модуль повітряної заслінки з датчиком положення; 5 – інтеркулер повітря, що нагнічується;
- 6 – пневматичний ЕК рециркуляції ВГ; 7 – пневматичний ЕК керування приводом лопаток; 8 – компресор; 9 – впускний колектор; 10 – пневмопривід лопаток з датчиком положення; 11 – випускний колектор

Напрямні лопатки призначені для зміни швидкості і напрямку потоку ВГ за рахунок зміни перетину каналу подачі газів. Клапан 7 керування пневмоприводом 10 спрацьовує при заданому значенні тиску наддування, яке контролюється датчиком 3 (рис. 3.4, б).

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

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

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

Надлишок повітря в дизелі призводить до утворення великої кількості оксидів азоту, завдяки чому, застосування *системи рециркуляції газів EGR* в дизелях дещо відрізняється від алгоритму роботи системи в бензинових ДВЗ. У дизелях, клапан EGR відкривається на холостому ході і подає до 50% об'єму повітря на впуск. З ростом обертів, клапан пропорційно закривається до повного закриття при максимальному навантаженні [32]. Під час прогрівання двигуна, клапан також повністю закритий. Застосування EGR на дизелях дозволяє домогтися:

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

Залежно від стандарту за токсичністю ВГ, на дизелях застосовуються різні схеми системи EGR. Система EGR високого тиску (рис. 3.5, а, б) застосовується на дизелях, що відповідають вимогам Євро 4, низького тиску (рис. 3.6, а), – Євро 5, а комбінованої структури (рис. 3.6, г), – Євро 6.

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

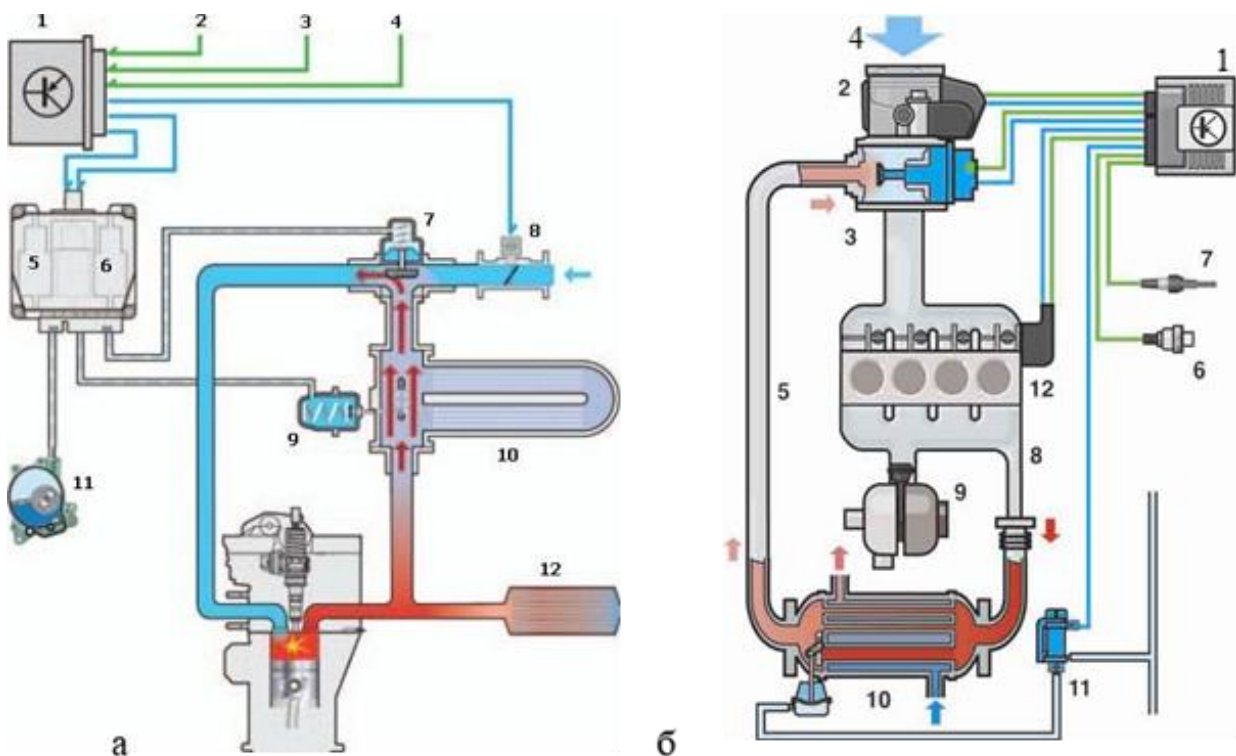


Рис. 3.5. Системи EGR дизелів з охолодженням газів:

а – високого тиску з пневматичним клапаном EGR: 1 – ЕБК двигуна; 2 – сигнал датчика частоти обертання КВ; 3 – сигнал датчика ДМВП; 4 – сигнал датчика ДТОР; 5 – пневматичний ЕК керування рециркуляцією; 6 – пневматичний ЕК керування заслінкою інтеркулера ВГ; 7 – клапан рециркуляції ВГ з пневмоприводом; 8 – електропривод впускної заслінки; 9 – вакуумний привід заслінки інтеркулера ВГ; 10 – інтеркулер ВГ; 11 – вакуумний насос; 12 – каталітичний нейтралізатор;

б – високого тиску з електромагнітним клапаном EGR: 1 – ЕБК двигуна; 2 – блок впускної заслінки з датчиком положення; 3 – пневматичний ЕК рециркуляції ВГ з датчиком положення; 4 – вхідне повітря; 5 – трубопровід для підведення ВГ; 6 – датчик ДТОР; 7 – датчик ДКК; 8 – випускний колектор; 9 – турбокомпресор; 10 – інтеркулер ВГ; 11 – пневматичний ЕК пневмопривода заслінки інтеркулера ВГ; 12 – електропривод впускних заслінок з датчиком положення;

Зазначимо, що впускні, випускні заслінки і заслінки рециркуляції, показані на схемах, нагадують конструкцію дросельних вузлів, які застосовуються на бензинових двигунах. Крім того, впускні заслінки у повітряному трубопроводі і функціонально схожі на дросель, але їх положення ніяк не керується педалью акселератора і не визначає кількість (дозу) палива і ефективну потужність на КВ (на відзнаку від бензинових ДВЗ).

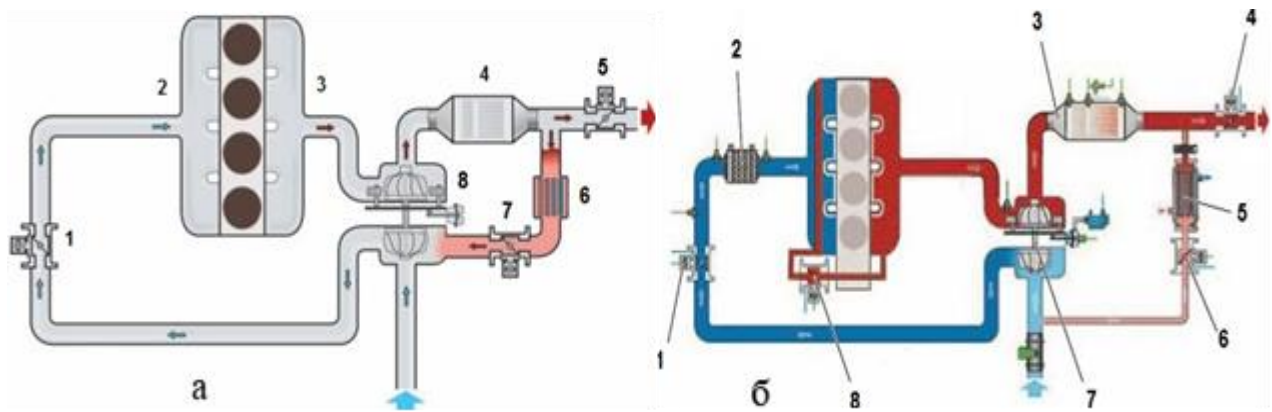


Рис. 3.6. Системи EGR дизелів з охолодженням газів:

- а* – низького тиску: 1 – впускна заслінка; 2 – впускний колектор; 3 – випускний колектор; 4 – фільтр сажі; 5 – випускна заслінка; 6 – інтеркулер ВГ; 7 – заслінка рециркуляції; 8 – турбокомпресор;
- б* – комбінованої структури: 1 – впускна заслінка; 2 – інтеркулер повітря; 3 – фільтр сажі; 4 – випускна заслінка; 5 – інтеркулер ВГ; 6 – заслінка рециркуляції низького тиску; 7 – турбокомпресор; 8 – заслінка рециркуляції високого тиску

3.2. Устрій апаратів високого тиску

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

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

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

Електромагнітна форсунка являє електромагнітний привід голчастого запірного клапана (рис. 3.7, а).

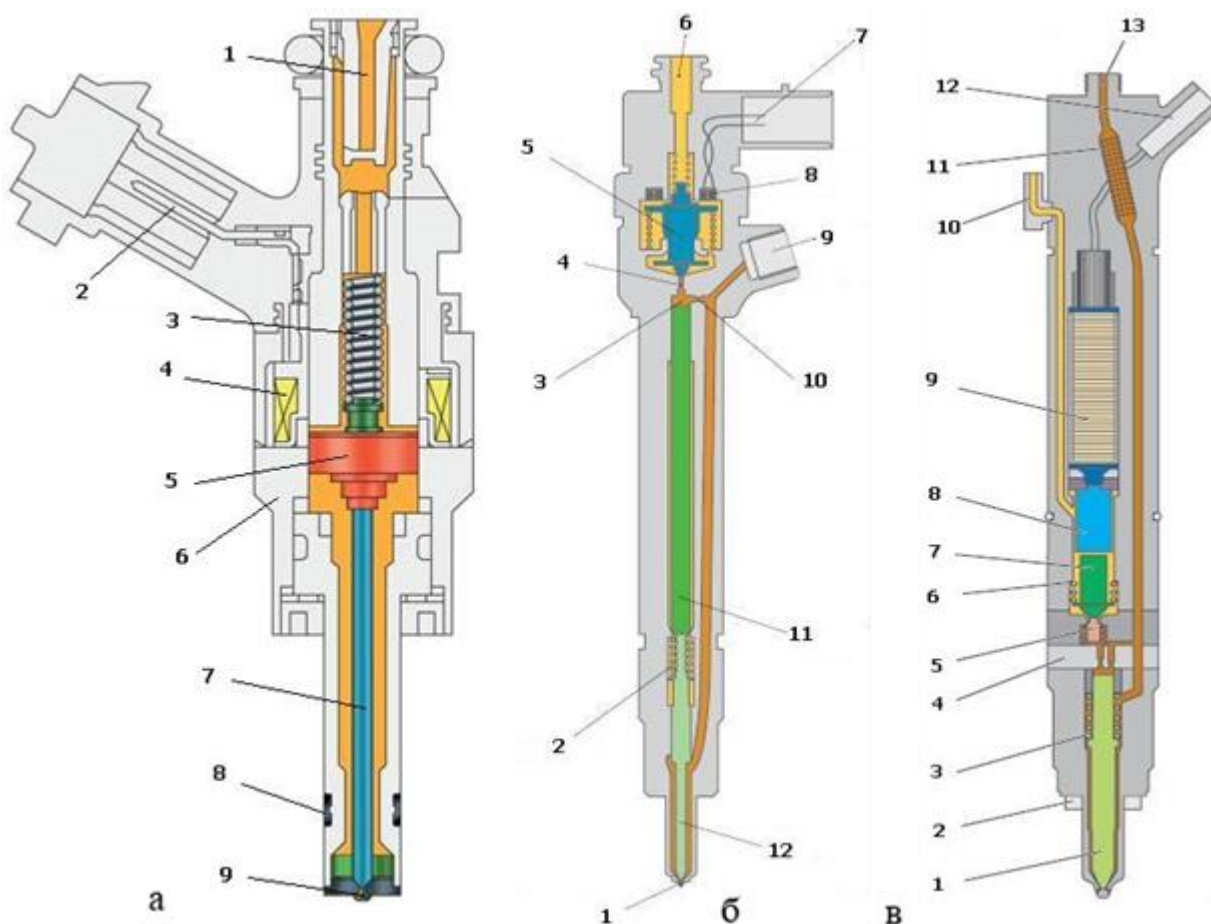


Рис. 3.7. Устрій паливних форсунок дизельних ДВЗ:
а – електромагнітна; б – гідроелектрична; в – п'єзогідравлічна

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

Гідроелектрична форсунка використовується на дизельних двигунах, обладнаних системою впорскування CR [21]. Конструкція форсунки поєднує електромагнітний клапан, камеру керування 3, впускний 10 і зливний 4 дроселі (рис. 3.7, б). Принцип побудови заснований на використанні тиску палива при його впорскуванні і відсіченні. У знеструмленому стані обмотки 8 з роз'ємом 7 голка форсунки 12 під дією тиску палива на поршень 11 в камері керування 3 притиснута до сідла 1, клапан закритий. При цьому, тиск палива на голку через різ-

ницю площ контакту менше тиску на поршень. Спрацьовування електромагніту підіймає запірний якір 5, відчиняючи зливний дросель 4 в каналі підведення палива 9. Паливо з камери керування надходить через дросель 4 в зливну магістраль 6. При цьому, впускний дросель перешкоджає швидкому вирівнюванню тиску в камері керування і впускній магістралі. Тиск на поршень знижується, а тиск палива на голку не змінюється. Під дією цього перепаду голка підіймається і відбувається впорскування палива.

П'єзогідравлічна форсунка (ПГФ) встановлюється на дизельних двигунах, обладнаних системою впорскування CR [21]. Принцип дії форсунки побудований на використанні зворотного п'єзоефекту (деформація кристала при підведенні напруги до його граней). Завдяки швидкодії (в 4 рази швидше ніж електромагнітні) такі форсунки дозволяють забезпечити багаторазове впорскування за один робочий цикл і точне дозування палива. Конструкція п'єзоелектричної форсунки включає набір п'єзоелементів 9 з роз'ємом підключення 12, штовхач 8, що перемикає клапан 5 з повертаючою пружиною 6 і клапанну голку 1 з притискною пружиною 3, встановлених в корпусі з ущільненням 2 (рис. 3.7, в).

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

Рядні ПНВТ типу РЕ бувають з електричним керуванням рейкою подачі палива і, додатково з втулкою керування моментом впорскування. У першому варіанті, циклова подача палива визначається положенням рейки ПНВТ, яка жорстко пов'язана з якорем лінійного електромагніту. Змінюючи силу струму в колі електромагніту (ШІМ-регулювання), ЕБК задає переміщення рейки і відповідно кількість палива,

що вприскується. Зусилля електромагніту врівноважується дією повертаючої пружини. У ПНВТ також вбудовані індукційний датчик частоти обертання і датчик положення рейки. У другому варіанті, кут випередження вприскування задається за допомогою електромагнітного поворотного механізму шляхом регулювання закриття випускного отвору втулкою в плунжерній парі.

Загальний вигляд рядного ПНВТ з електронним керуванням циклової подачі палива і кутом випередження вприскування, показаний на рис. 3.8.

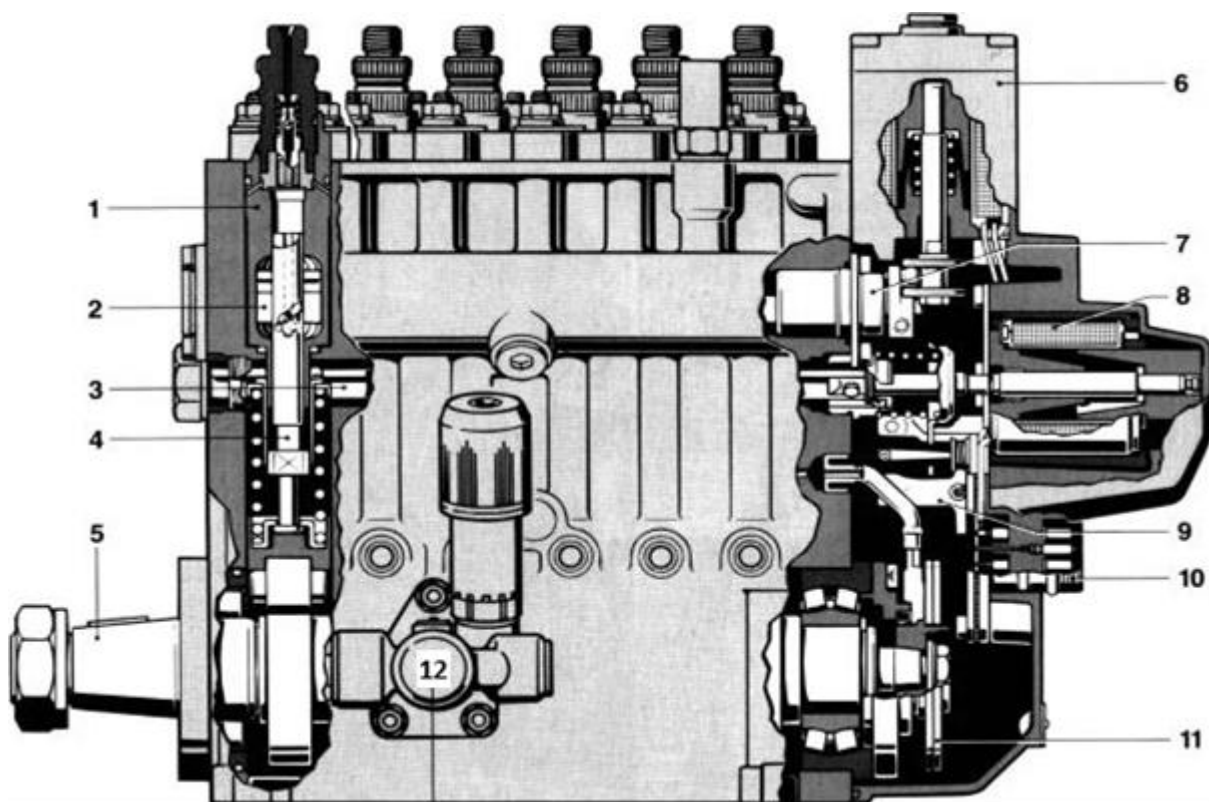


Рис. 3.8. Рядний ПНВТ з електронним керуванням:

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

Регулювання циклової подачі палива здійснюється рейкою керування 3. Якір електромагнітного регулятора приєднаний до рейки 3. На обмотку регулятора 8 подається ШІМ-сигнал, шпаруватість якого (середнє значення сили струму) визначається на підставі інформації з

вхідних датчиків: температури двигуна, частоти обертання валу насоса, положення педалі керування рейкою (акселератора) і ін. При відключенні обмотки 8, пружина повертає рейку в положення зупинки двигуна і припиняє подачу палива. Диск 11 на валу 5 активізує інкрементний датчик (індукційний або Холла) частоти обертання ПНВТ.

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

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

Датчик 9 являє трансформатор, коефіцієнт передачі напруги в якому, визначається положенням паливної рейки (рис. 3.9).

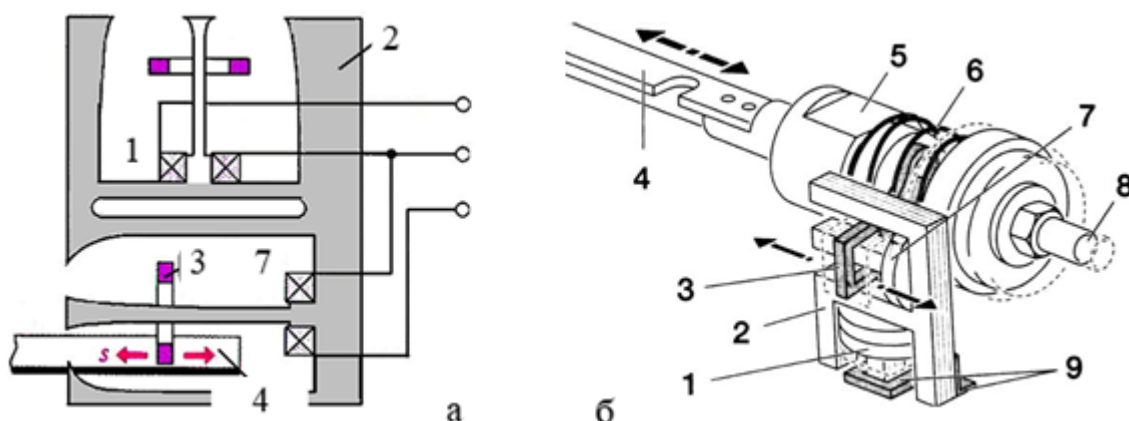


Рис. 3.9. Датчик положення паливної рейки:
а – схема побудови; б – конструкція;

На рис. 3.9 позначено позиції: 1 – котушка збудження; 2 – сердечник; 3 – короткозамкнений рухомий контур; 4 – паливна рейка; 5 – лиска; 6 – зворотна пружина; 7 – вимірювальна котушка; 8 – магнітопровід; 9 – нерухомий контур. Котушки 1 і 7, розглядаються як первинна та вторинна обмотки трансформатора. Котушка 7 живиться змінною напругою постійної амплітуди з частотою 10 кГц. Контур 3

переміщається спільно з рейкою 4 відносно котушок 1 і 7, змінюючи коефіцієнт трансформації пропорційно ходу рейки з точністю 0,2 мм.

Розподільні насоси VE типу спочатку керувалися механічними регуляторами (рис. 3.10).

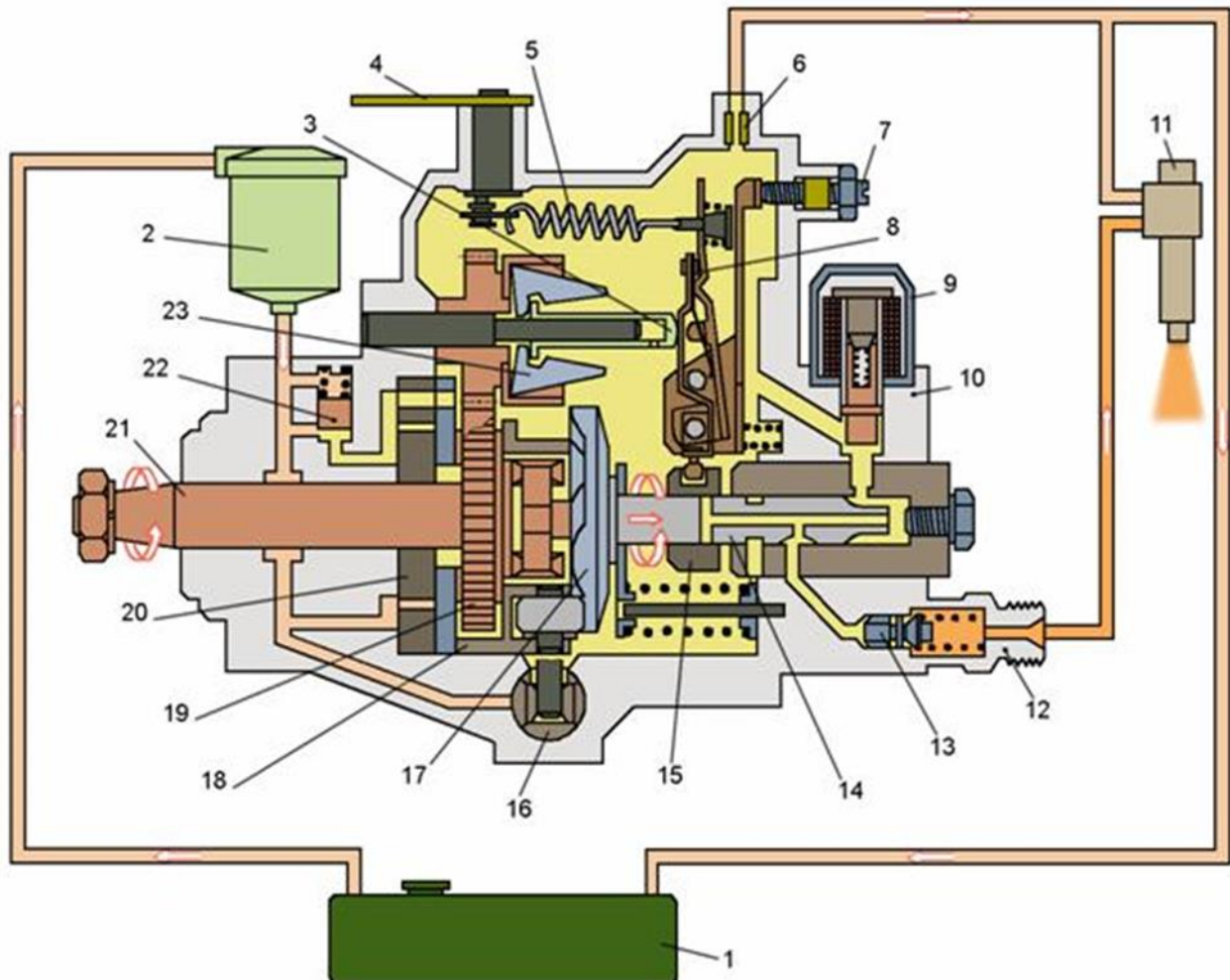


Рис. 3.10. Устрій базового розподільного насоса типу VE:

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

В статорній частині приводу встановлено кільце з роликами і штоком приводу автомата випередження впорскування палива 18. Поступальний рух забезпечується кулачковим диском 17, а обертальний – валом 21. Автомат випередження впорскування палива 16 в механічних ПНВТ являє гідравлічний пристрій, робота якого визначається тиском палива у внутрішній порожнині ПНВТ, що створюється паливним насосом низького тиску 20 зі зворотним клапаном 22. У насосі типу VE з електронним керуванням реалізація керуючих впливів здійснюється за допомогою електричних виконавчих пристроїв – поворотного електромагнітного приводу з обмоткою 6, дозуючою муфтою 5 і гідроелектричним приводом 4 роликового кільця 9 з електроклапаном 2 (рис. 3.11).

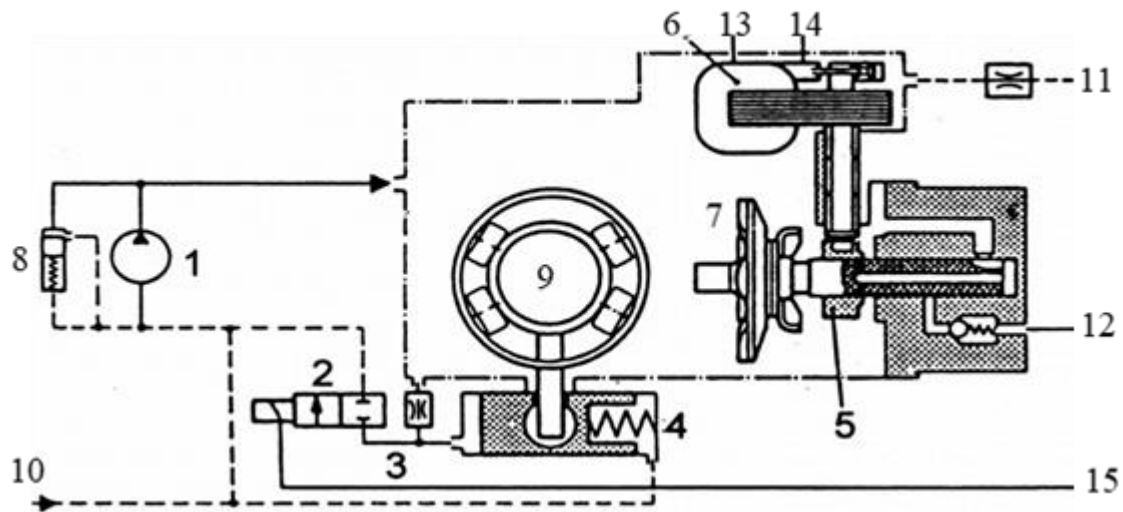


Рис.3.11. Схема одноплунжерного VE насоса з електронним керуванням:

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

Паливо по впускному трубопроводі 10 надходить в насос низького тиску 1 з редукційним клапаном 8, клапан 2 і компенсуючу камеру гідроциліндра регулятора випередження впорскування 4. Після

насоса 1 паливо під тиском підкачки, через дозатор 5 заповнює плунжерну камеру високого тиску, і через жиклер 3, - робочу камеру циліндра 4.

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

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

У роторних ПНВТ розподільного типу VP паливо в корпус агрегату підкачується шибєрним насосом низького тиску 17 (рис. 3.12).

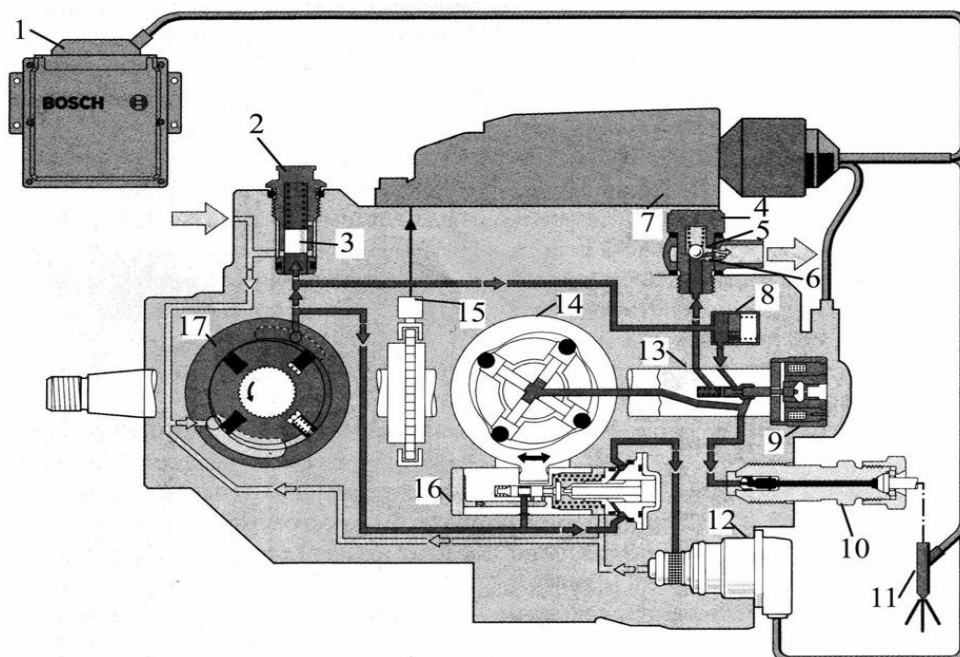


Рис. 3.12. Гідравлічна схема ПНВТ VP-44

Рівень низького тиску встановлюється регулюванням клапана 2 із поршнем 3. Далі паливо фіксованого тиску подається в центральну порожнину секції високого тиску 14 через отвори ротора розподільника 13 (такт заповнення). Секція 14 складається з кулачкового кільця та чотирьох радіально розташованих плунжерів, які синхронно стискують паливо. В такті впорскування, паливо під високим тиском через отвори ротора-розподільника 13 розподіляється по форсунках 11 з підтримкою тиску за допомогою нагнітальних клапанів 10. Поршневий демпфер 8 нівелює перепади тиску в межах робочого циклу.

Кількість палива дозується електромагнітним клапаном високого тиску 9. Надлишки палива в процесі дозування відводяться в зливну магістраль 5 через клапан 4 і дросель 6. Пристрій випередження впорскування 16 виконаний аналогічно конструкції попереднього варіанту (див. рис. 3.11) тиск в якому керується електромагнітним клапаном 12.

Кутове положення і швидкість обертання приводного валу ПНВТ контролюється інкриментним датчиком 15 (аналогічно ДПКВ). Для формування сигналів керування ЕК 9 і 12 використовується окремий ЕБК насоса 7, який кореспондує з ЕБК дизеля 1.

Магістральні ПНВТ застосовуються в акумуляторних паливних системах типу СР де процеси створення високого тиску і впорскування розділені. Конструкції насосів такого типу, перш за все, відрізняються за кількістю плунжерних секцій (рис. 3.13).

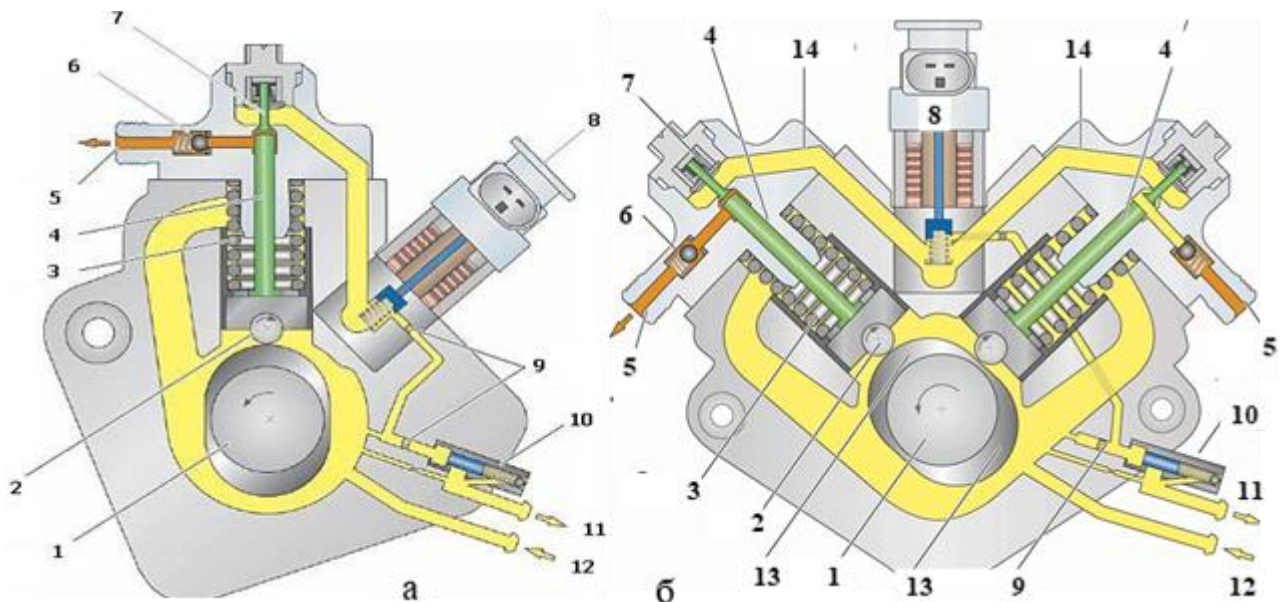


Рис. 3.13. Гідравлічні схеми магістральних ПНВТ:
а – одноплунжерний; б – двох-плунжерний;

На рис. 3.13 позначено позиції: 1 – привідний вал; 2 – ролик; 3 – пружина плунжера; 4 – плунжер; 5 – штуцер до паливної рампи; 6 – випускний клапан; 7 – впускний клапан; 8 – редукційний клапан; 9 – фільтр тонкого очищення; 10 – перепускний клапан; 11 – злив палива; 12 – подача палива; 13 – кулачки; 14 – впускні канали.

Тиск впорскування створюється незалежно від частоти обертання двигуна і кількості впорскуваного палива. Паливо під тиском зберігається в паливному акумуляторі і система, таким чином, завжди готова до впорскування [33].

Для підтримки заданого тиску впорскування використовується редукційний клапан, який може встановлюватися в контурі низького тиску (*регулятор потоку* 8 на рис. 3.13) або в контурі високого тиску (*регулятор тиску* 8 на рис. 3.14, а).

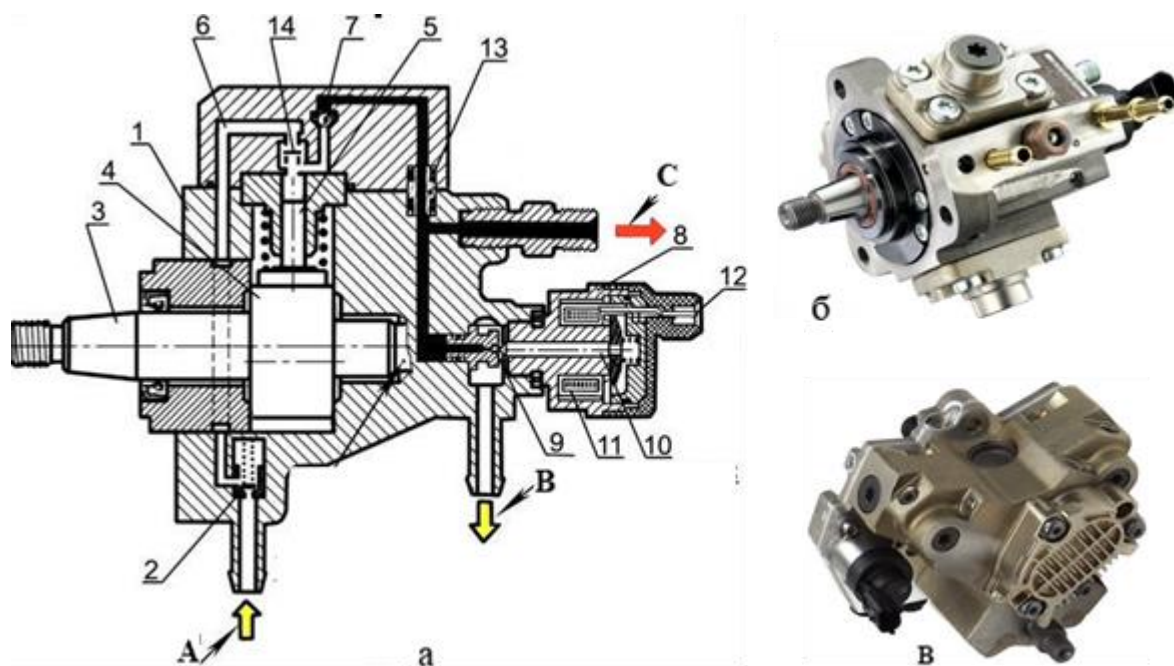


Рис. 3.14. Устрій трьох-плунжерних магістральних ПНВТ:

а, б – з вбудованим регулятором тиску; в – з вбудованим регулятором потоку

На рис. 3.14, а позначено позиції: 1 – корпус; 2 – дренажний клапан з дроселем; 3 – вал приводу; 4 – кулачок; 5 – плунжер; 6 – канал підводу палива; 7 – випускний клапан високого тиску; 8 – редукційний клапан; 9 – кульковий клапан; 10 – якорь ЕК; 11 – обмотка ЕК; 12 – електричне рознімання; 13 – ущільнювач; 14 – зворотний клапан низького тиску. На рисунку також показано підключення паливних магістралей: А – забір палива з бака; В – зливна магістраль; С – подача

палива в акумулятор. Редукційний клапан регулятора тиску розміщується або в структурі ПНВТ (рис. 3.14), або в структурі паливного акумулятора. Редукційний клапан незалежно від міста розташування, керується ШІМ-сигналом. Високий тиск на виході магістрального ПНВТ, залежно від модифікації насоса, може утворюватися паралельною або послідовною дією плунжерних секцій. В останньому випадку, для керування продуктивністю насоса, в окремій секції високого тиску передбачається ЕК відключення плунжерної секції. Для підкачки палива в контурі низького тиску використовуються насоси з механічним приводом (окремий чи вмонтований) або електричний занурювальний, або і перше і друге разом.

Індивідуальні одноплунжерні ПНВТ (UPS – Unit Pump System) у своїй структурі мають керуючий ЕК. Такі насоси встановлюються на кожен циліндр двигуна [33]. З'єднання паливного каналу високого тиску з гідравлічною форсункою закритого типу здійснюється за допомогою короткої трубки (рис. 3.15).

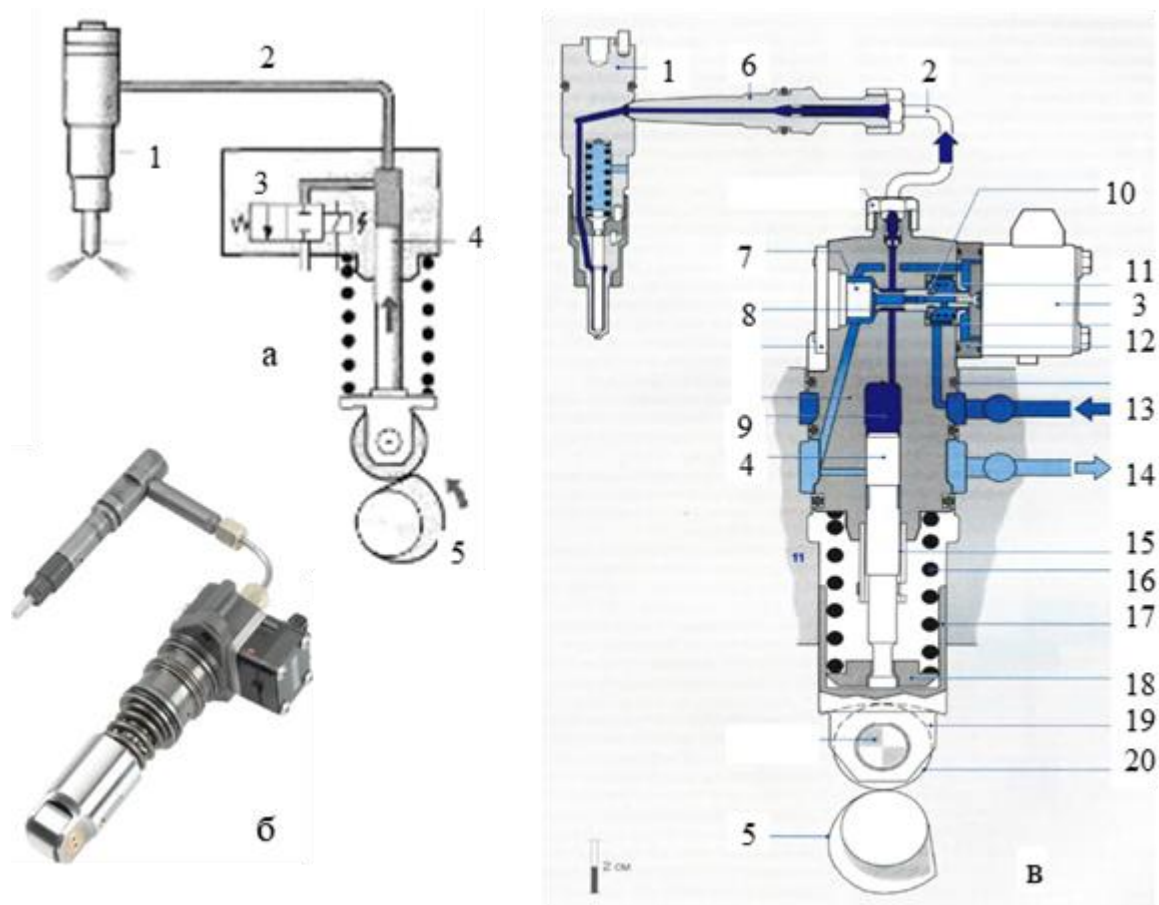


Рис. 3.15. Індивідуальний ПНВТ з форсункою:
а – схема пристрою; б – зовнішній вигляд; в – устрій:

На рис. 3.15, в позначено позиції: 1 – форсунка; 2 – трубка підведення високого тиску; 3 – ЕК подачі палива в циліндр високого тиску; 4 – плунжер; 5 – кулачок РВ; 6 – штуцер трубопроводу високого тиску; 7 – упор, 8 – голка ЕК; 9 – камера високого тиску; 10 – сідло пружини, 11 – пружина ЕК; 12 – пластина якоря; 13 – вхід палива; 14 – повернення палива; 15 – ущільнювальний поясок плунжера; 16 – пружина штовхача; 17 – корпус штовхача; 18 – сідло пружини; 19 – ролик штовхача; 20 – ролик штовхача.

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

Одноплунжерні ПНВТ, скомпоновані в *насос-форсунки* (UIS – Unit Injector System), встановлюються в головці блоку циліндрів, окремо для кожного циліндра і приводяться в дію або безпосередньо кулачком, або від розподільного валу через штовхач клапана. На відміну від рядних насосів і ПНВТ розподільного типу насос-форсунки не мають магістралей високого тиску і дозволяють отримати більш високий тиск впорскування. Робота паливних систем з насос-форсунками можна розділити на чотири робочі стадії [21] (рис. 3.16).

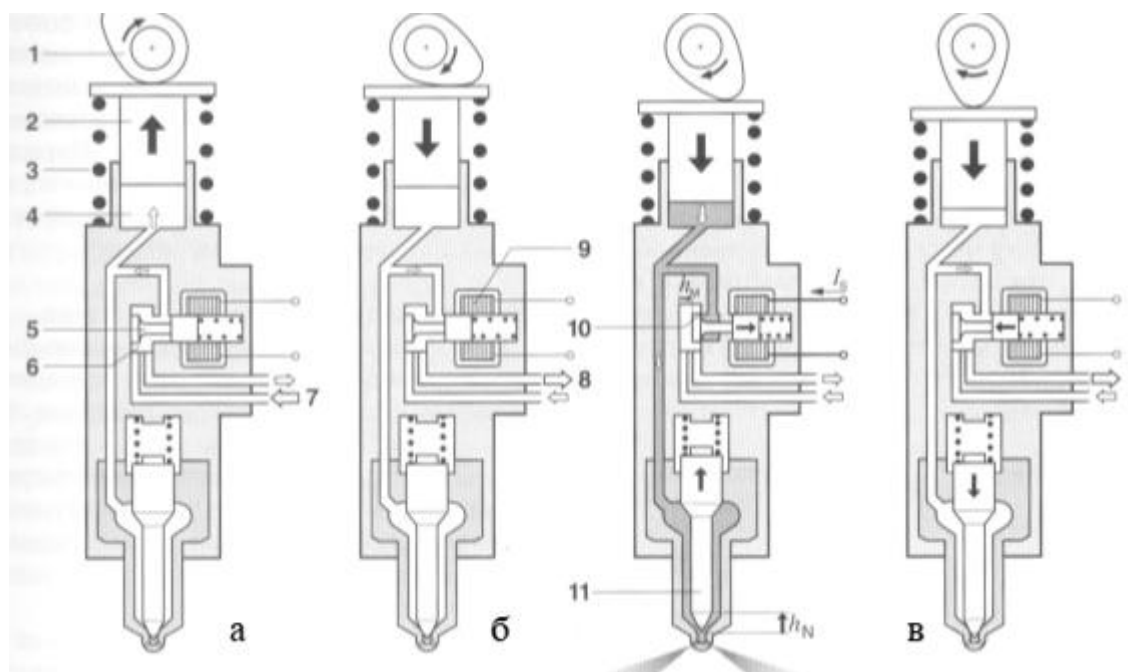


Рис. 3.16. Фази робочого циклу насос-форсунки:
а – хід впуску; б – попередній хід; в – робочий та заключний хід

Зворотна пружина 3 переміщує плунжер 2 вгору. Паливо, що постійно знаходиться під тиском, поступає із ступеня низького тиску в камеру 6 ЕК через отвори в блоці циліндрів двигуна і впускний канал 7. Кулачок 1, продовжуючи повертатися, примушує плунжер переміщуватися вниз. ЕК відкритий на стільки, що плунжер може виштовхувати паливо через канал повернення 8 в ступінь низького тиску. Робочий цикл насос-форсунки можна ілюструвати діаграмами по куту повернення колінчастого валу (рис. 3.17).

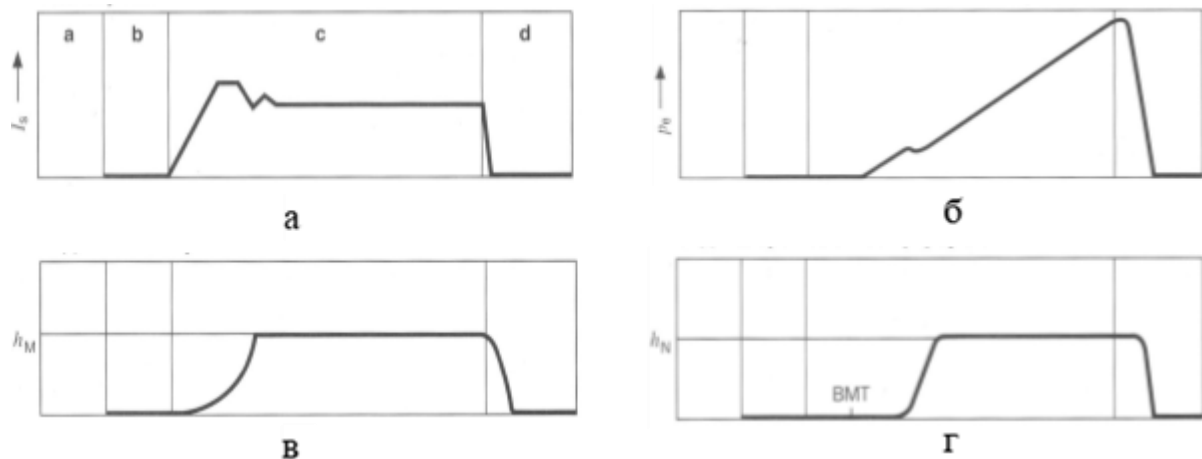


Рис. 3.17. Діаграми робочого процесу насос-форсунки: а – струм котушки; б – тиск впрыскування; в – хід голки ЕК; г – хід голки розпилювача форсунки

На момент робочого ходу ЕБК видає пусковий сигнал на ЕК 9, при цьому, голка клапану сідає на сідло 10 і з'єднання між камерою високого тиску і ступенем низького тиску припиняється. Цей момент означає «електричний початок впрыскування», або геометричний початок подачі. Закриття ЕК, тобто посадка його голки на сідло, викликає зміну струму в котушці ЕК. Це сприймається ЕБК як сигнал дійсного початку впрыскування палива і означає розрахунок подальшого процесу впрыскування.

Подальший рух плунжера вниз викликає підвищення тиску палива в камері високого тиску, а також підвищення тиску в розпилювачі. Як тільки тиск в розпилювачі досягає величини, що відповідає тиску початку підйому голки форсунки, голка 11 піднімається з сідла і паливо впрыскується в камеру згоряння двигуна. Оскільки при русі плунжера забезпечується максимальна подача палива, тиск палива продовжує збільшуватися протягом всього періоду впрыскування. Як тільки котушка ЕК знеструмлюється, клапан після короткої затримки

відчиняється і відкриває з'єднання між камерою високого тиску і ступенем низького тиску. Максимальний тиск впорскування палива досягається під час перехідної фази між ходом впорскування і заключним ходом. Як тільки ЕК відкривається, тиск швидко падає і коли стає нижче тиску посадки голки форсунки на сідло, соплові отвори розпилювача закриваються і процес впорскування припиняється. Зайве паливо, виштовхується в ступінь низького тиску через канал повернення палива.

Для досягнення максимально можливої плавності протікання процесу згоряння перед основним впорскуванням здійснюється *попереднє впорскування* малої кількості палива під невеликим тиском. Внаслідок цього, досягається зниження шумності процесу згоряння і зменшення емісії оксидів азоту. Функціонування насос-форсунки з попереднім впорскуванням продемонстровано на рис. 3.18.

На рис. 3.18 позначено позиції: 1 – пружина плунжера; 2 – плунжер; 3 – голка ЕК; 4 – корпус ЕК; 5 – камера високого тиску; 6 – зливна магістраль; 7 – магістраль живлення; 8 – голівка блоку циліндрів; 9 – сідло голки ЕК; 10 – голка розпилювача; 11 – хід голки розпилювача без демпфірування; 12 – зона пружини розпилювача; 13 – корпус розпилювача; 14 – перепускний зазор; 15 – гідравлічний буфер; 16 – амортизаційний клапан; 17 – перепускний клапан; 18 – пружина ЕК.

При заповненні камери високого тиску, плунжер під дією пружини рухається вгору, що веде до збільшення об'єму камери (рис. 3.18, а). При цьому, ЕК знеструмлено, голка клапана знаходиться в положенні, що відкриває шлях паливу з живильної магістралі в камеру високого тиску.

На початку попереднього впорскування кулачок РВ через коромисло підтискає плунжер донизу; плунжер, в свою чергу, віджимає паливо з камери високого тиску в живильну магістраль (рис. 3.18, б). За сигналом від ЕБК голка ЕК притискається до сідла, перекриваючи шлях паливу з камери високого тиску в живильну магістраль. Внаслідок цього, відбувається підвищення тиску в камері. Коли тиск досягає заданого значення (180 бар), пружина розпилювача стискається, голка розпилювача підіймається, і починається попереднє впорскування.

У процесі попереднього впорскування, хід голки розпилювача демпфується гідравлічним буфером, що дає можливість точно дозувати кількість палива, що впорскується (рис. 3.18, в).

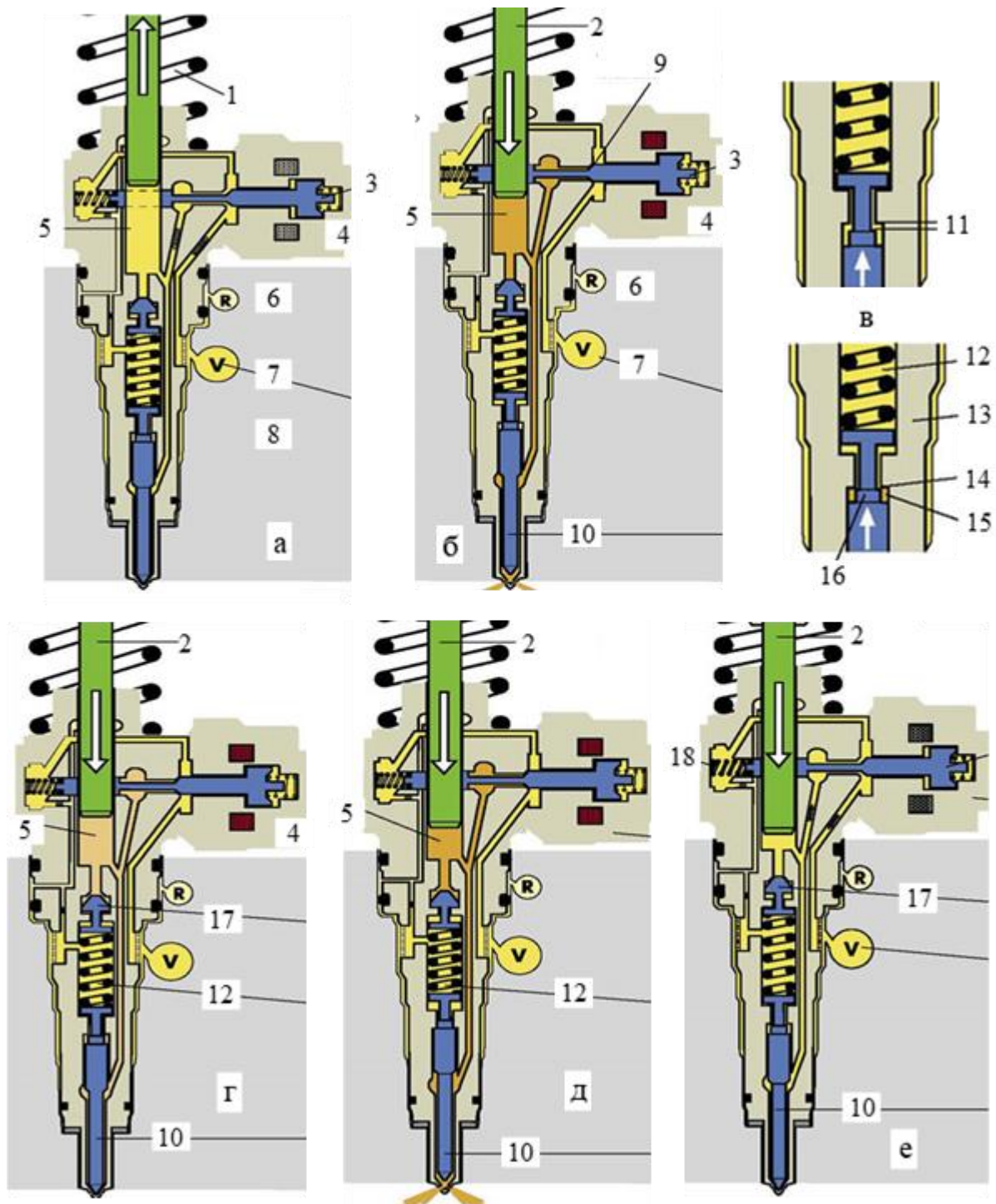


Рис. 3.18. Робочий цикл гідроелектричної насос-форсунки з механічним приводом:
 а – заповнення камери високого тиску; б – початок попереднього впрыскування; в – демпфірування ходу голки розпилювача; г – кінець попереднього впрыскування; д – початок основного впрыскування;
 е – кінець основного впрыскування.

Це відбувається наступним чином. На першій третині ходу ніщо не заважає ходу голки. При цьому, в камеру згоряння попередньо вприскується паливо. Як тільки демпферний клапан 16 почне переміщатися з свердління корпусу розпилювача, паливо над голкою розпилювача зможе надходити під тиском в зону розміщення пружини тільки через зазор знизу демпферного клапана. Внаслідок цього, виникає гідравлічний буфер, який обмежує хід голки розпилювача при попередньому вприскуванні.

Безпосередньо після відкриття голки форсунки закінчується попереднє вприскування (рис. 3.18, г). Під дією зростаючого тиску, перепускний клапан 17 рухається донизу, тим самим, збільшуючи об'єм камери високого тиску. Внаслідок цього, тиск на короткий час падає, і форсунка зачиняється, а пружина розпилювача стискається сильніше.

Після посадки голки, тиск в камері високого тиску знову підіймається. ЕК закритий, і поршень насос-форсунки рухається вниз (рис. 3.18, д). Коли тиск досягає 300 бар, долається зусилля пружини розпилювача. Голка знову піднімається, і в камеру згоряння вприскується основна доза палива. Тиск при цьому, піднімається до 2050 бар.

Кінець вприскування настає, коли з блоку ЕБК перестає надходити сигнал на ЕК. При цьому, голка клапана під дією пружини відходить від сідла, і стискає плунжером паливо, яке може надходити в живильну магістраль (рис. 3.18, е). Тиск палива падає, голка зачиняє сопло, і перепускний клапан під дією пружини повертається у вихідне положення.

П'єзогідравлічні насос-форсунки з механічним приводом функціонують аналогічним чином (рис. 3.19).

На рис. 3.19 позначені позиції: 1 – кулачок приводу насос-форсунки; 2 – роликове коромисло; 3 – пружина плунжера; 4 – важільний мультиплікатор; 5 – п'єзоелектричний клапан (ПЕК); 6 – порожнина високого тиску; 7 – магістраль зливу палива; 8 – магістраль підведення палива; 9 – голка розпилювача; 10 – запірний поршень; 11 – пружина форсунки; 12 – зворотний клапан; 13 – голка ЕК; 14 – плунжер; 15 – демпфуючий об'єм над голкою; 16 – дросель в каналі підведення палива; 17 – канал підведення палива в порожнину високого тиску.

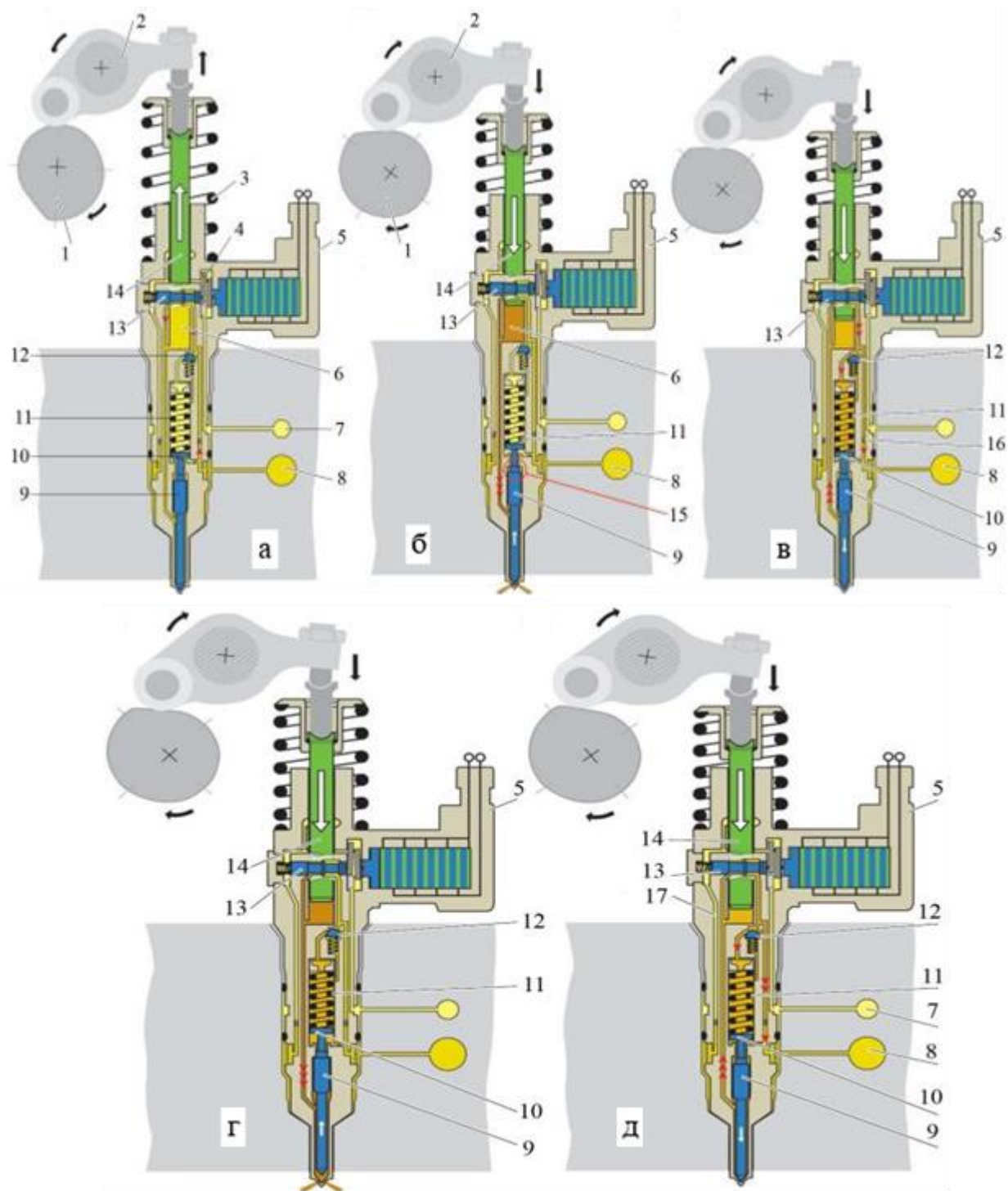


Рис. 3.19. Функціонування п'єзoeлектричної насос-форсунки:
 а – процес наповнення порожнини під плунжером; б – початок вприскування
 запальної дози; в – завершення вприскування запальної дози; г – початок
 вприскування основної дози; д – завершення вприскування основної дози

Підйом плунжера відбувається під дією пружини. При цьому, порожнина під плунжером заповнюється паливом, що надходить через відкритий ПЕК з магістралі підведення 8 (рис. 3.19, а).

При переміщенні плунжера вниз, паливо що витісняється, перетікає в камеру низького тиску до тих пір, поки не закриється ПЕК і тиск палива в порожнині під плунжером почне швидко зростати долаючи зусилля пружини 11. В результаті, голка 9 підіймається і починається впорскування запальної дози палива (рис. 3.19, б). При цьому, рух голки демпфується паливом, яке витісняється з об'єму 15.

Впорскування запальної дози палива закінчується після відкриття ПЕК і зниження тиску під плунжером в результаті зливу палива в магістраль 8. Голка розпилювача опускається на сідло під дією пружини і підтримує тиск палива, яке надходить в порожнину пружини форсунки через зворотний клапан 12 (рис. 3.19, в). Цей тиск створюється дроселем 16, встановленим у внутрішньому каналі підведення палива. Тиск палива в порожнині пружини передається за допомогою запірної поршні 10 на голку розпилювача і прискорює її посадку. Залежно від режиму роботи двигуна ЕБК може ініціювати впорскування однієї або двох запальних доз палива.

Впорскування основної дози палива відбувається при подальшому русі плунжера вниз. Після посадки голки ПЕК на сідло і впорскування запальної дози палива, починається підвищення тиску в розпилювачі. Цей тиск утримується завдяки зворотному клапану 12 і діє на запірний поршень форсунки 10 (рис. 3.19, г). Максимальний тиск впорскування 2200 кгс/см^2 досягається на режимі максимальної потужності. Впорскування основної дози палива закінчується внаслідок відкриття ПЕК. Як і при закінченні впорскування запальної дози, тиск палива знижується в результаті його зливу в канал підводу палива і в порожнину пружини форсунки. Посадка голки розпилювача на сідло проводиться під сумарною дією пружини і запірної поршні (рис. 3.19, д). Процес впорскування додаткового палива практично не відрізняється від процесу впорскування основної дози палива, але характеризується істотно меншим тиском і кількістю палива, що впорскується, через меншу тривалість його подачі.

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

він знаходиться під традиційним для гідросистем тиском. Тиск в масляній магістралі створюється спеціальним насосом.

У системах *HEUI* (Hydraulically actuated Electronically controlled Unit Injection) застосовуються насос-форсунки з гідравлічним приводом плунжера і електромагнітним керуванням подачею палива різних поколінь [34, 35]. Насос-форсунки першого покоління, містять розпилювач з голчастим клапаном і гідравлічний мультиплікатор тиску, що складається з гідравлічного поршня, який приводить в дію поршень подачі палива (рис. 3.20 а, б).

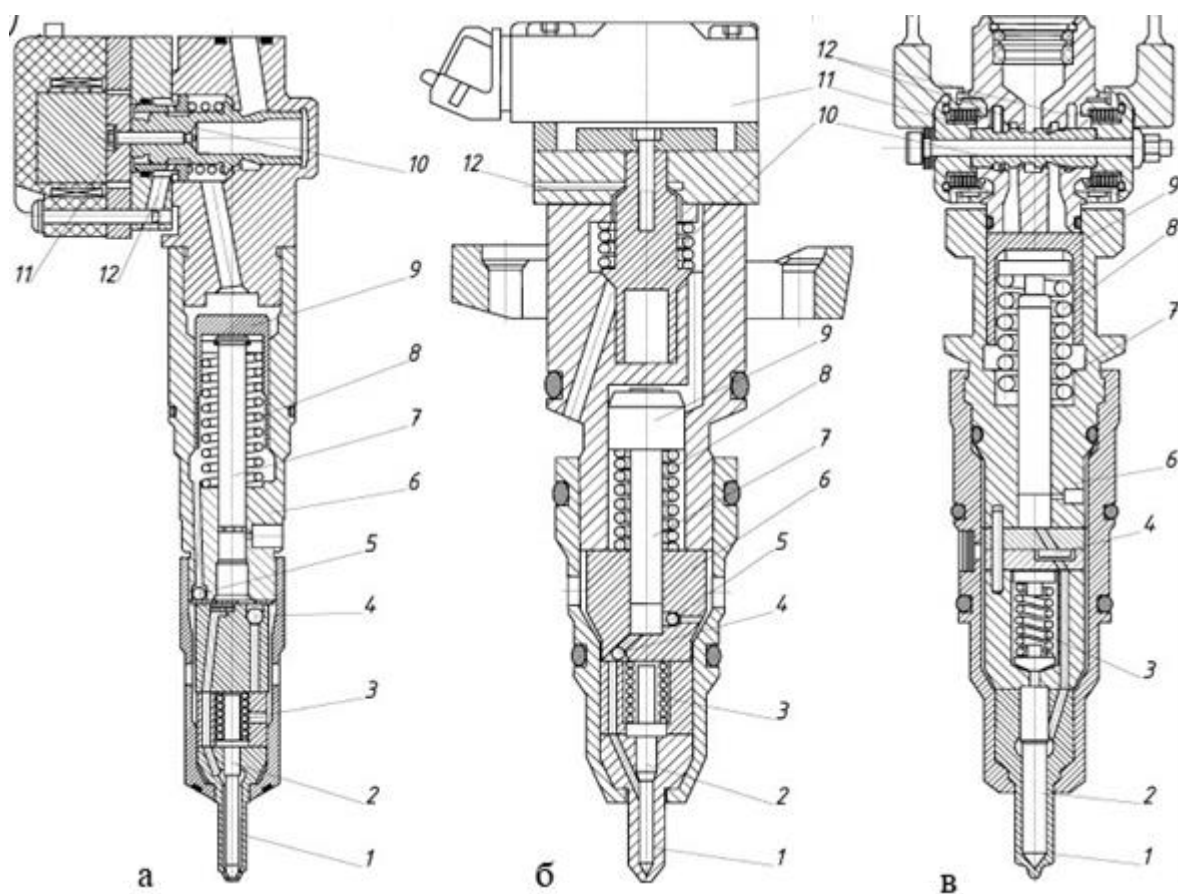


Рис. 3.20. Насос-форсунки з гідравлічним приводом:

а – з боковим керуючим клапаном; б – з осьовим керуючим клапаном;
в – з бістабільним керуючим клапаном

На рис. 1.3.19 позначені позиції: 1 – корпус розпилювача; 2 – голчастий клапан розпилювача; 3 – пружина голчастого клапана; 4 – клапан наповнення; 5 – зворотний клапан; 6 – втулка плунжера; 7 – плунжер; 8 – зворотна пружина; 9 – гідравлічний поршень приводу плунжера; 10 – клапан керування; 11 – котушка керуючого ЕК; 12 – зливна магістраль.

Подача масла в порожнину гідравлічного циліндра здійснюється через електромагнітний клапан 10, який може мати горизонтальне (рис. 3.20, а) або вертикальне (рис. 3.20, б) розташування. Відкриття клапанів здійснюється соленоїдом 11, за сигналами від ЕБК, а закриття – пружиною, що повертає 8. Притиснення клапана до сідла відбувається під дією тиску в масляній магістралі. У відкритому стані клапан 10 сполучає канал високого тиску з порожниною гідравлічного циліндра, а в закритому – своїм розвантажувальним пристроєм сполучає порожнину гідроциліндра із зливною магістраллю 12. Розвантажувальний пристрій може бути виконаний у вигляді циліндричного золотника (рис. 3.20, а) або запірного конуса (рис. 3.20, б). Для швидкої роботи ЕК в потужних ДВЗ потрібні значні струми споживання соленоїда (створення тягових зусиль). Тому, в подальших розробках, використовувалися золотникові бістабільні клапани (рис. 3.19, в). В цьому випадку, відкриття і закриття ЕК здійснюється за допомогою двох соленоїдів. При цьому, всі осьові сили, що діють на золотник, врівноважують один одного, тому золотник може перебувати в будь-якому положенні, зберігаючи його навіть після припинення дії на нього сили, що переміщує. Це дає ряд переваг в організації подачі палива. По-перше, зменшуються габарити соленоїда і збільшується швидкість спрацьовування клапана. По-друге, час проходження струму через котушку зводиться до мінімуму, а сила струмів під час керуючого імпульсу може досягати досить високих значень без перегріву обмотки соленоїда.

Незалежно від покоління розробки, у всіх насос-форсунок даного класу, після відкриття керуючого клапана, масло з керуючої магістралі надходить в порожнину гідравлічного циліндра, змушуючи поршень 9 переміщатися вниз. При цьому, плунжер 7, жорстко з'єднаний з поршнем 9, витісняє паливо із підплунжирної порожнини через зворотний клапан 5 в розпилювач 1. Оскільки площа плунжера 7 в кілька разів менше площі поршня 9, тиск в підплунжирній порожнині зростає до 170...210 МПа. У міру зростання тиску в порожнині розпилювача, паливо відкриває голчастий клапан 2, долаючи зусилля стиснення пружини 3, і паливо вприскується в камеру згоряння. Для підведення палива і керуючого масла до насос-форсунок використовуються порожнини в головці блоку циліндрів.

У гідроприводі системи HEUI використовуються масляні аксіально-плунжерні насоси керуючого тиску МНВТ з регулюванням продуктивності. Для стабілізації характеристики гідроприводу також використовується регулятор тиску керуючого масла (редукційний золотниковий ЕК), який встановлюється прямо в масляній магістралі МНВТ.

3.3. Устрій паливних систем

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

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

Паливна система з рядним ПНВТ включає гідравлічні компоненти: паливний бак; насос підкачки палива; паливний фільтр; рядний ПНВТ; форсунки; паливні магістралі. Оскільки в системі використовуються гідромеханічні форсунки і вал ПНВТ жорстко пов'язаний з колінчастим валом ДВЗ, всі керуючі впливи реалізуються в структурі ПНВТ за сигналами з ЕБК (рис. 3.21).

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

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

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

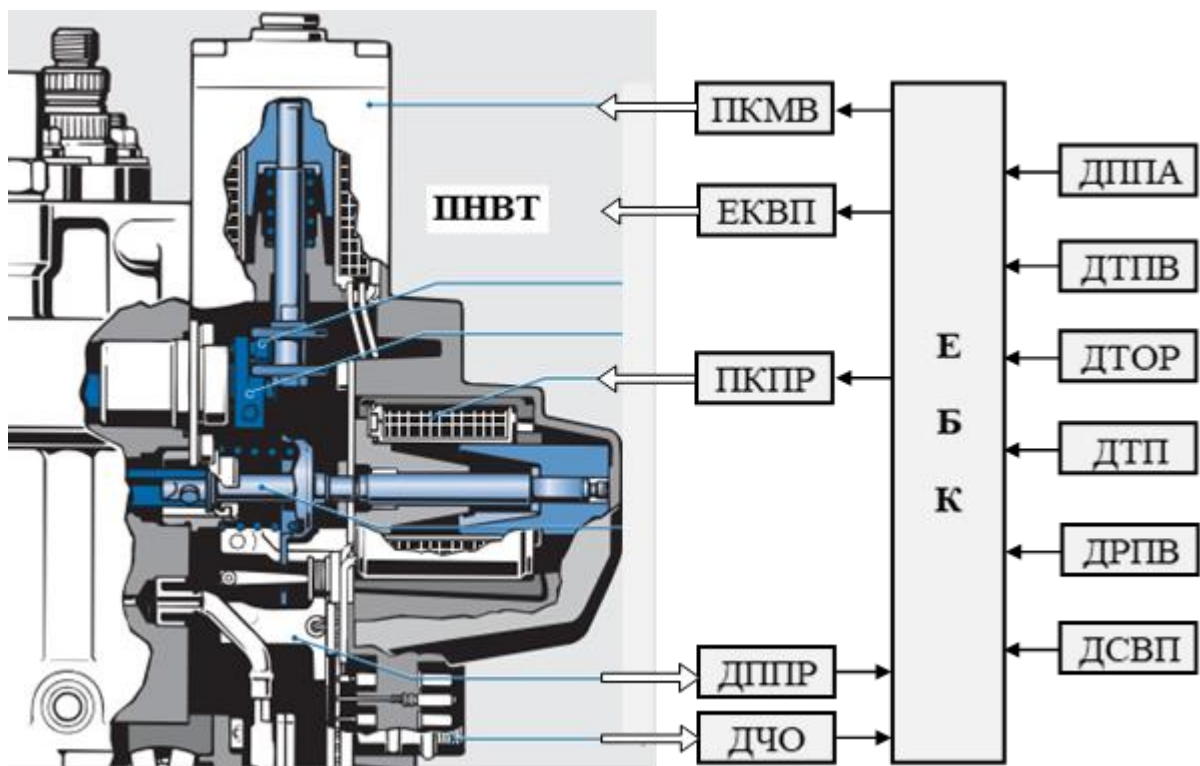


Рис. 3.21. Схема електронного регулювання подачі палива в рядному ПНВТ

Основними елементами системи подачі палива з розподільним ПНВТ VE-типу є привод керування дозуючою муфтою ПКДМ і моментом впорскування ПКМВ (рис. 3.22).

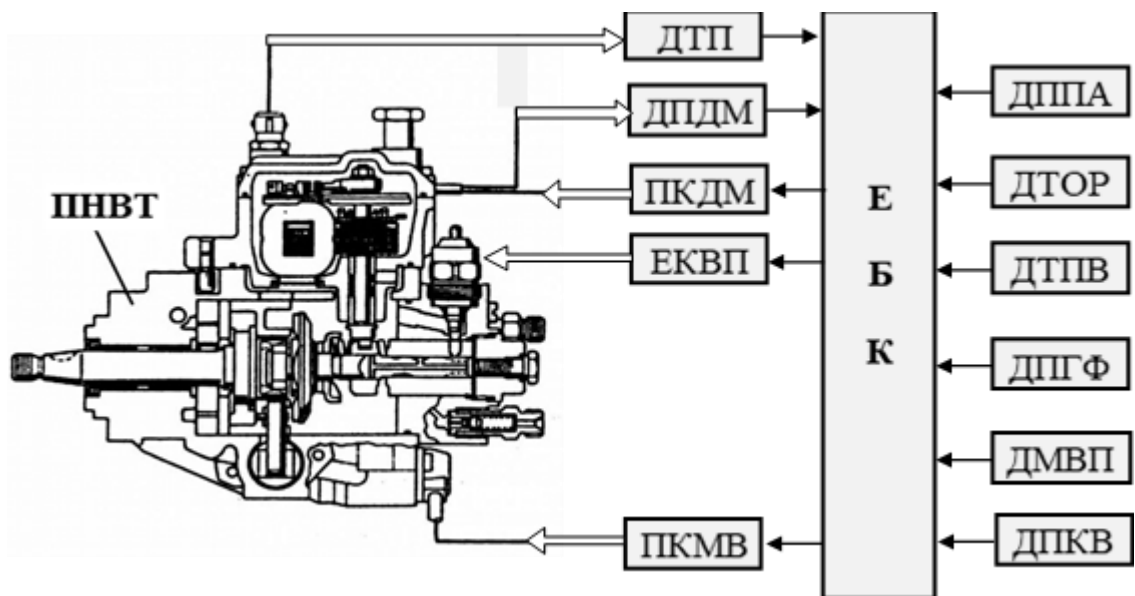


Рис. 3.22. Схема електронного регулювання подачі палива в розподільному ПНВТ VE-типу

На відміну від схеми керування рядним ПНВТ (рис. 3.21) в структуру представленої системи керування входять:

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

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

В системі з індивідуальними ПНВТ (UPS – Unit Pump System) кожний ПНВТ 3 закріплюється з боку блоку циліндрів і приводиться до дії спеціальним кулачком, який розташований на розподільному валу 4 двигуна (рис. 3.23).

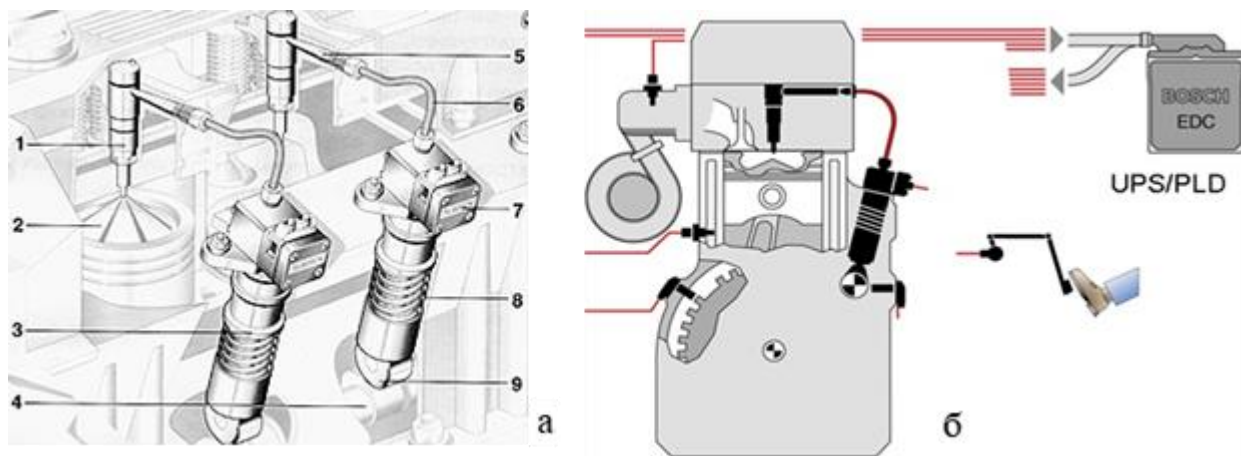


Рис. 3.23. Розташування індивідуальних ПНВТ на ДВЗ:

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

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

трубопроводи високого тиску однакової довжини, що дозволяє витримувати високочастотні коливання тиску.

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

У електромеханічній системі з насос-форсунками (UIS – Unit Injector System) одноплунжерні ПНВТ, конструктивно об'єднані з електромагнітними або п'єзоелектричними форсунками, встановлюються в головці блоку циліндрів окремо для кожного циліндра і приводяться в дію або безпосередньо кулачком, або від РВ через штовхач клапана [33] (рис. 3.24).

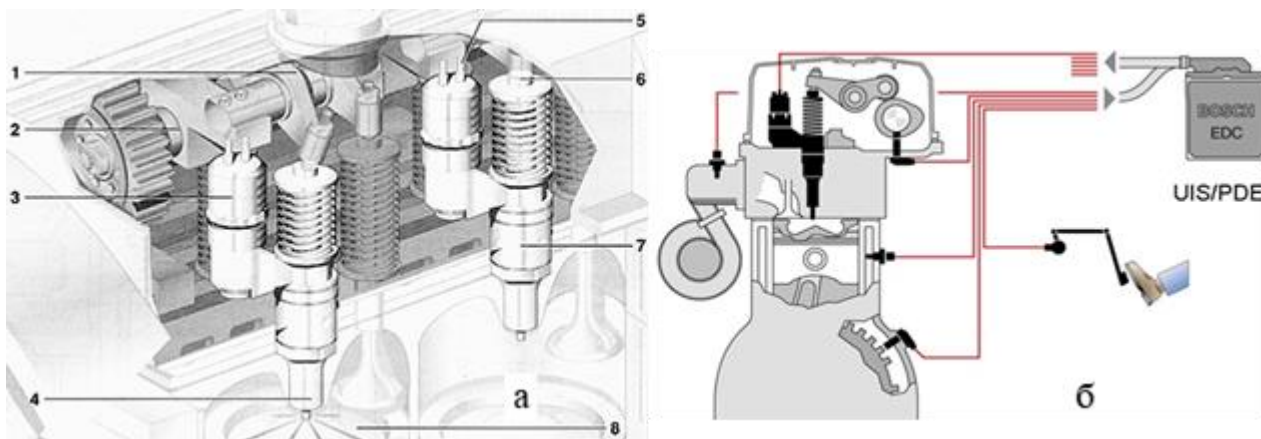


Рис. 3.24. Розташування паливних насос-форсунок на ДВЗ:

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

На відміну від систем подачі палива з рядними, розподільними і індивідуальними ПНВТ в системі з насос-форсунками відсутні магістралі високого тиску, що дозволяє отримати більш високий тиск вприскування і в поєднанні з електронним керуванням забезпечується зниження шкідливої емісії ВГ. Функціонування системи UIS аналогічно системі UPS. Схеми паливного контуру систем UIS і UPS мають схожу конфігурацію (рис. 3.25).

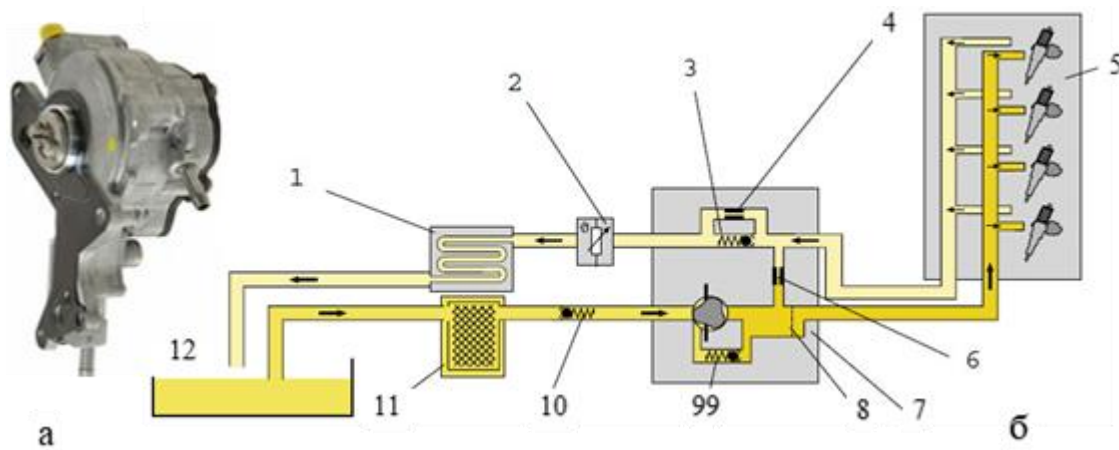


Рис. 3.25. Устрій паливного контуру насос-форсунок:
а – зовнішній вигляд насоса подачі палива; б – схема гідравлічна

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

В системі *HEUI* (Hydraulically actuated Electronically controlled Unit Injection) насос-форсунки активізуються гідравлічним приводом (без кулачкового валу). Система має два незалежних контури: паливний і масляний. По паливному контуру, паливо під насосним тиском 0,2...0,55 МПа подається до насос-форсунок по каналах, виконаним у вигляді свердловин в голівці блоку циліндрів [35]. Залишки надлишкового палива через дросельний клапан 17 зливаються назад в паливний бак 16 (рис. 3.26).

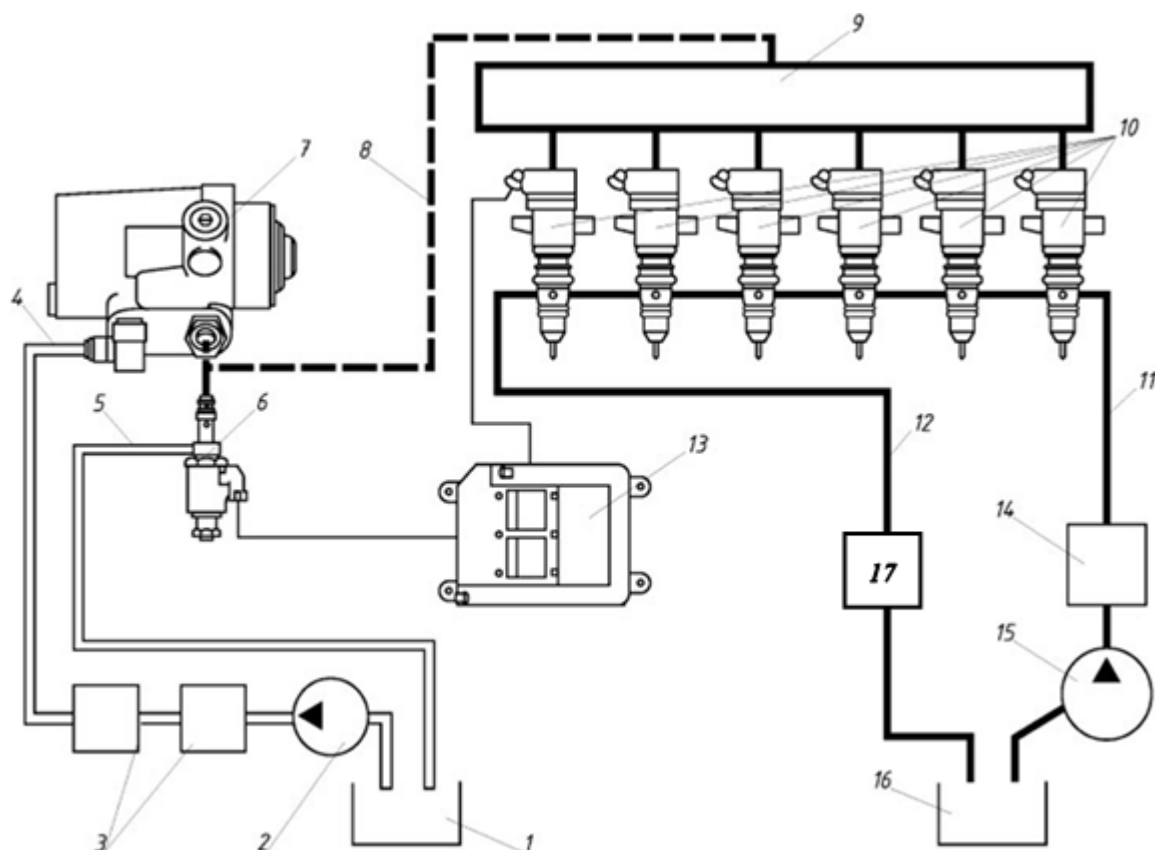


Рис. 3.26. Схема гідроелектричної паливної системи HEUI:

1 – бак для масла; 2 – насос підкачки масла; 3 – масляний фільтр; 4 – магістраль забору масла; 5 – магістраль зливу масла; 6 – клапан регулювання тиску в системі гідроприводу; 7 – масляний насос високого тиску; 8 – масляна магістраль високого тиску; 9 – акумулятор тиску масла; 10 – насос-форсунки з гідроприводом; 11 – магістраль підведення палива; 12 – магістраль зливу палива; 13 – ЕБК; 14 – паливний фільтр; 15 – насос підкачки палива; 16 – паливний бак; 17 – дросельний клапан

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

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

В паливній системі Bosch CR (Common Rail) створення тиску і безпосередній процес впорскування повністю розділені. Високий тиск створюється незалежно від частоти обертання КВ двигуна і кількості палива, що впорскується. Паливо під робочим тиском акумулюється в загальній рампі. Циклова подача палива визначається дією водія, а кут випередження і тиск впорскування регламентуються ЕБК на основі характеристикних карт, які зберігаються в пам'яті мікропроцесора. Акумуляторна система CR включає в себе елементи електронного керування: електронний блок керування ЕБК; датчики режимних параметрів ДВЗ; електронну педаль акселератора; електромагнітні виконавчі пристрої в різних комплектаціях [3, 4, 36] (рис. 3.27).

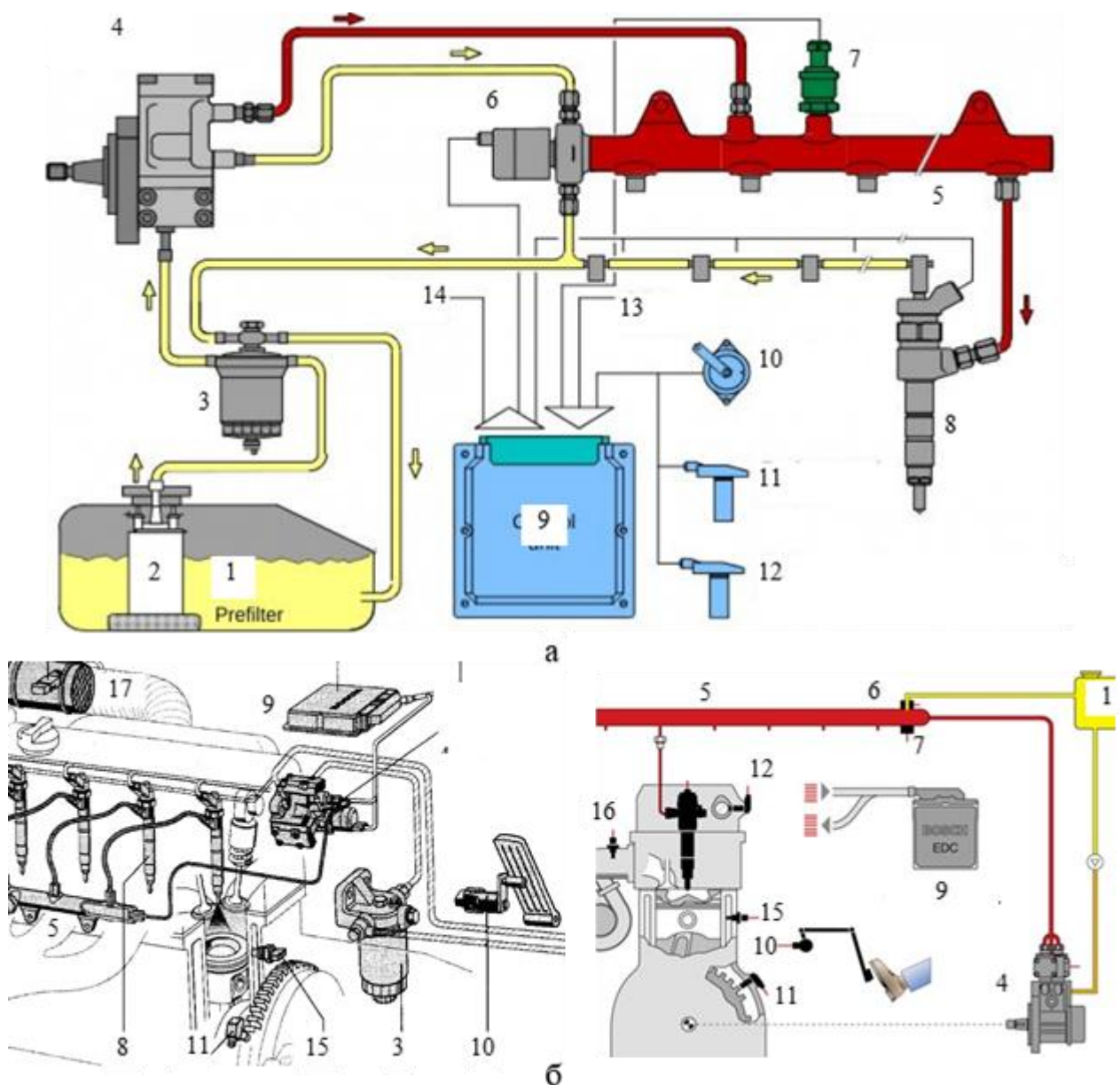


Рис. 3.27. Паливна система Common Rail:
а – конфігурація; б – розміщення на двигуні

На рис. 3.27 позначено: 1 – паливний бак; 2 – насос підкачки; 3 – паливний фільтр; 4 – ПНВТ; 5 – паливний акумулятор; 6 – регулятор тиску; 7 – датчик тиску палива; 8 – електромагнітні паливні форсунки; 9 – ЕБК; 10 – датчик ДППА; 11 – датчик ДПКВ; 12 – датчик ДПРВ; 13 – сигнали інших датчиків; 14 – інші виконавчі пристрої; 15 – датчик ДТОР; 16 – датчик температури повітря; 17 – датчик ДМВП.

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

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

По-перше, для підтримки заданого тиску в акумуляторі можуть застосовуватись або регулятор тиску (редукційний електроклапан в структурі ПНВТ чи паливного акумулятора), або регулятор потоку палива (редукційний електроклапан) у контурі низького тиску в структурі ПНВТ разом з обмежувачем тиску (механічний клапан в структурі паливного акумулятора). По-друге, насос підкачки палива (низького тиску) може бути або механічний (в структурі ПНВТ чи окремий), або електричний в паливному баку. По-третє, в системах може передбачатися двофазне впорскування, де в камеру згоряння попередньо впорскується запальна (пілотна) доза палива. Такий алгоритм поліпшує ефективність згоряння та забезпечує зниження шуму, витрати палива і емісії шкідливих речовин з ВГ. По-четверте, поряд з системами Common Rail виробництва Bosch використовуються акумуляторні паливні системи інших виробників різних конфігурацій (рис. 3.28).

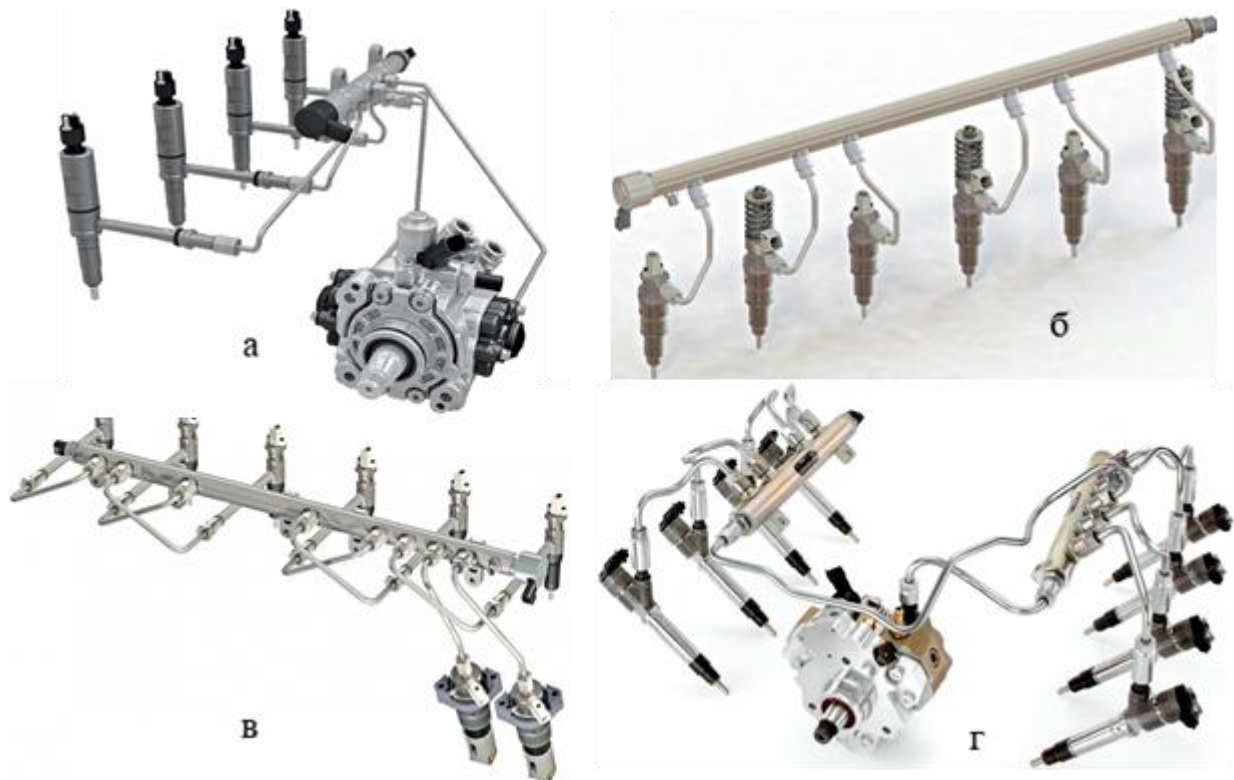


Рис. 3.28. Акумуляторні паливні системи виробництва Delphi:
а – з одним акумулятором; б – F2E з трьома насос-форсунками (6 інжекторів);
в – F2P з двома індивідуальними ПНВТ; г – з двома рампами

В акумуляторних паливних системах другого покоління CR DFі для підвищення динамічних характеристик форсунок почали застосовувати підвищену напругу імпульсів керуючого сигналу (рис. 3.29).

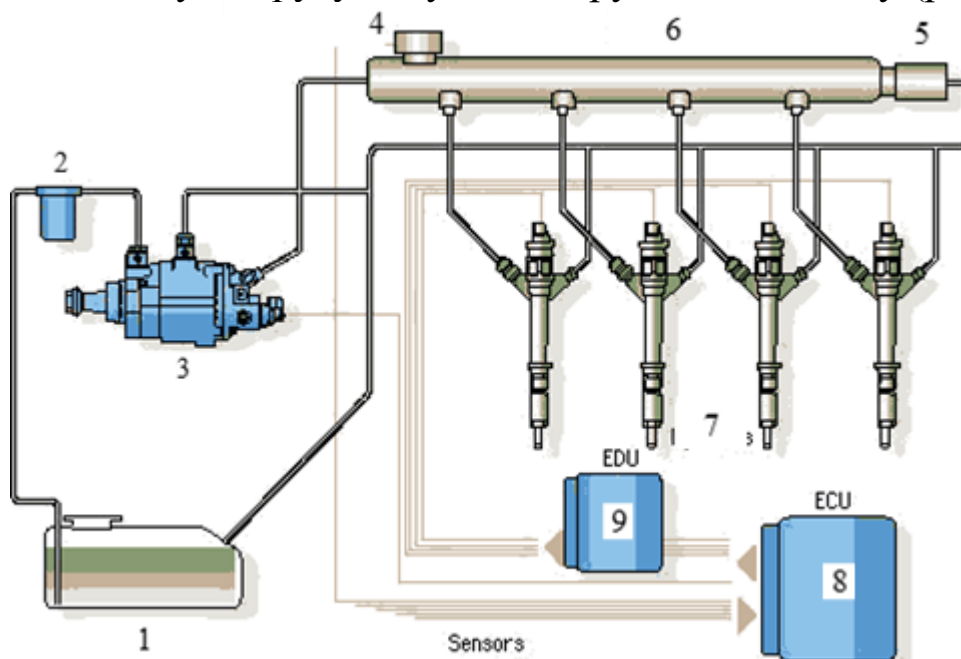


Рис. 3.29. Акумуляторна паливна система CR DFі

Система складається з традиційних елементів: паливного баку 1 і фільтру 2; магістрального ПНВТ 3; датчика 4 і обмежувача тиску в структурі паливного акумулятору (рампи); гідроелектричних форсунок 7; ЕБК 8 (ECU – Electronic Control Unit). Додатковим елементом системи є електронний драйвер 9 (EDU – Electronic Driver Unit) з перетворювачем DC/DC, що підвищує напругу імпульсів керування форсунками. Поряд з цим, відбувається ШІМ формування струму в обмотках ЕК форсунок. Такі доповнення CR системи дозволяють підвищити швидкість форсунок (багатофазове вприскування) та знизити споживання електроенергії.

3.4. Побудування комплексних систем керування дизелями

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

Системи EDC (Electronic Diesel Control) з рядними і розподільними ПНВТ, які здійснюють групове керування вприскуванням, мають схожі функціональні структури. Перелік режимних параметрів ДВЗ, які необхідні для формування керуючих сигналів виконавчими пристроями, в таких системах, можна визначити за призначенням датчиків (рис. 3.30).

В комплексній системі EDC використовуються датчики розглянутих систем подачі палива: ДППА, ДПКВ, ДТОР, ДПДМ, ДТП, ДСВТ, ДМВП. Деякі датчики аналогічного призначення в різних комплектаціях отримали нові (узагальнені) назви: ДРПП (регулятора подачі палива); ДМВ (моменту вприскування).

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

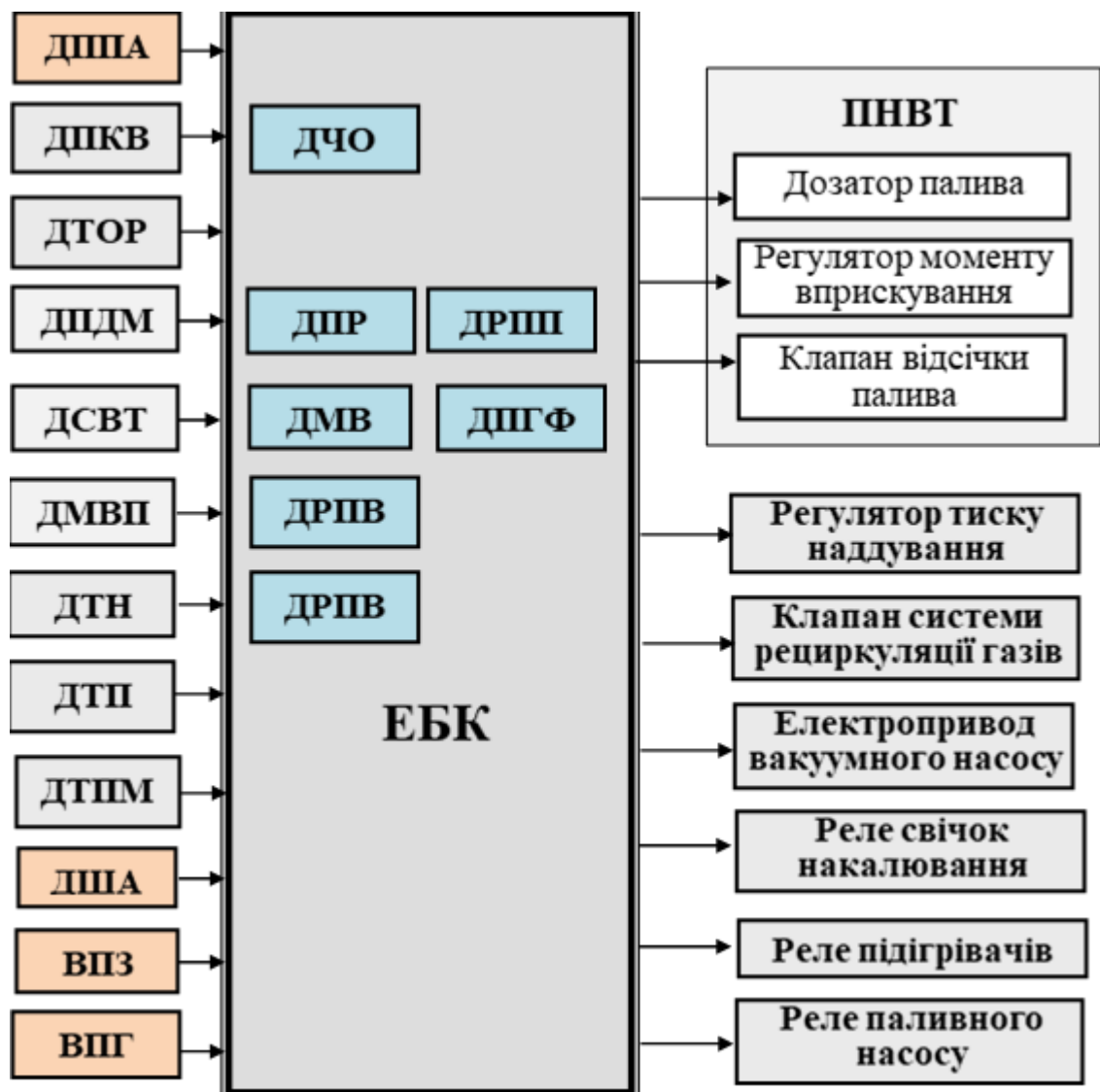


Рис. 3.30. Узагальнена функціональна схема системи EDC з груповим впорскуванням

Реалізацію керуючих впливів за допомогою виконавчих пристроїв, розглянемо на прикладі системи EDC з розподільчим THVD VP-типу (рис. 3.31).

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

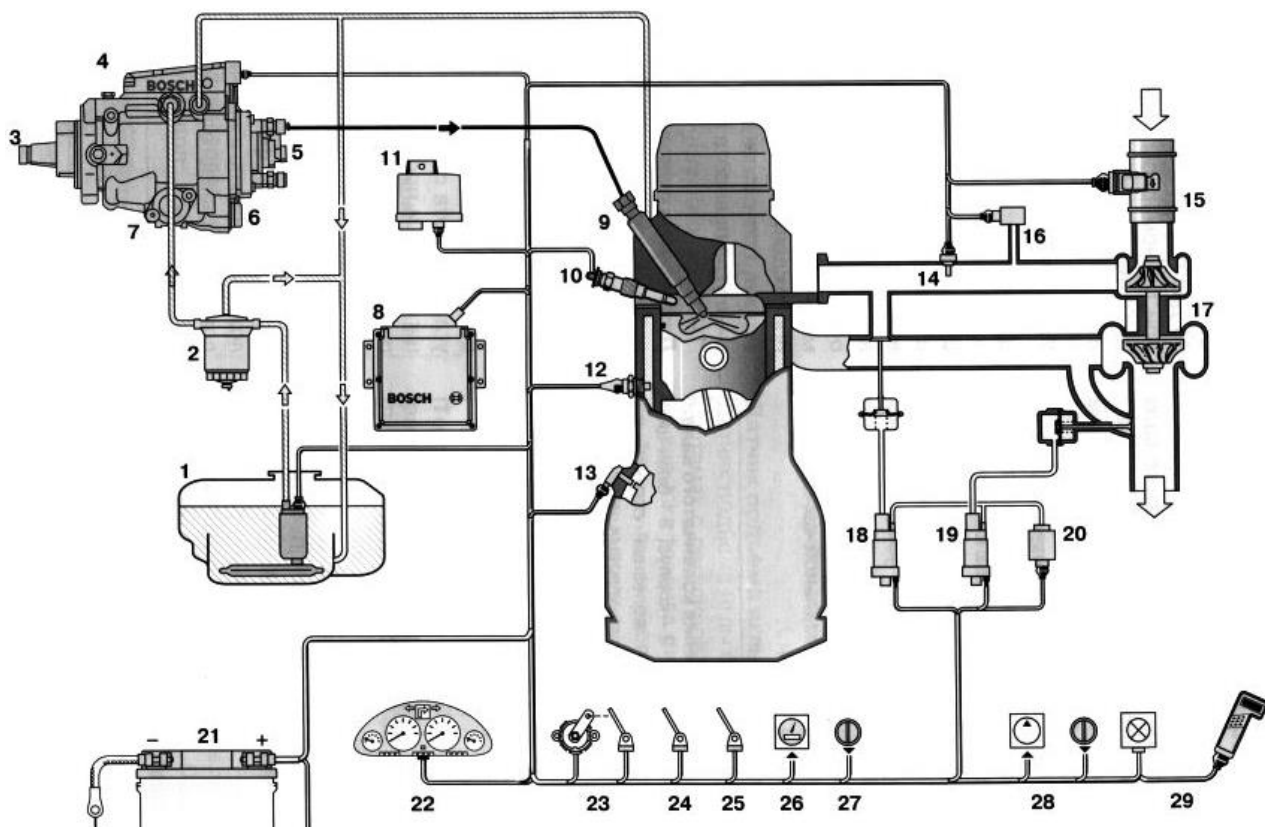


Рис. 3.31. Компонівка системи EDC з розподільним ПНВТ VP-типу:

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

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

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

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

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

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

В системах EDC з розподіленням керуванням індивідуальними ПНВТ або насос-форсунками додаткові функції керування реалізуються аналогічним чином [21, 34]. На рис. 3.32 показано улаштування означених систем керування двигуном, які відрізняються тільки конструкцією виконавчого пристрою UIS/UPS.

На схемі (рис. 3.32) відокремлені елементи систем: А – подачі палива (ступінь низького тиску); В – ступеню високого тиску; С – електронного керування; D – периферійного обладнання.

Привод (пневмоелектричний або електромоторний) повітряної заслінки 16 забезпечує підвищення ступеню рециркуляції відпрацьованих газів шляхом зниження тиску у впускному колекторі на малих швидкісних режимах двигуна. Індивідуальні ПНВТ утворюють високий тиск палива на вході в гідравлічну форсунку та дозують подачу палива в імпульсному режимі шляхом керування електромагнітним клапаном подачі палива.

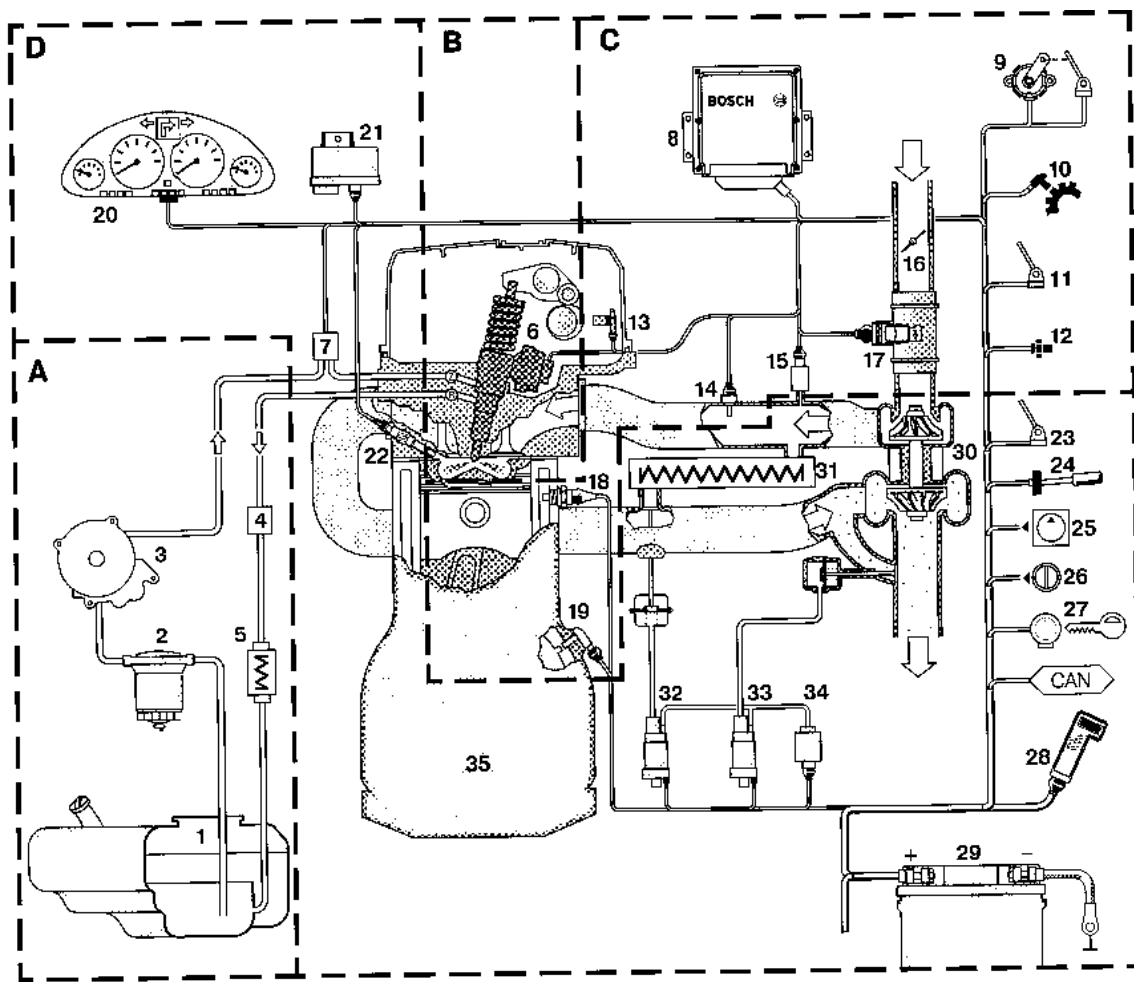


Рис. 3.32. **Компоновка системи EDC з насос-форсунками:**

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

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

Комплексні системи з розподіленим керуванням *UIS/UPS*, крім згаданих раніше, включають датчик для ідентифікації циліндрів (положення розподільного валу ДПРВ) та атмосферного тиску ДАТ для пристосування к умовам експлуатації. Сигнали керування виконавчими пристроями формуються згідно схемі функціональної прив'язки (рис. 3.33).

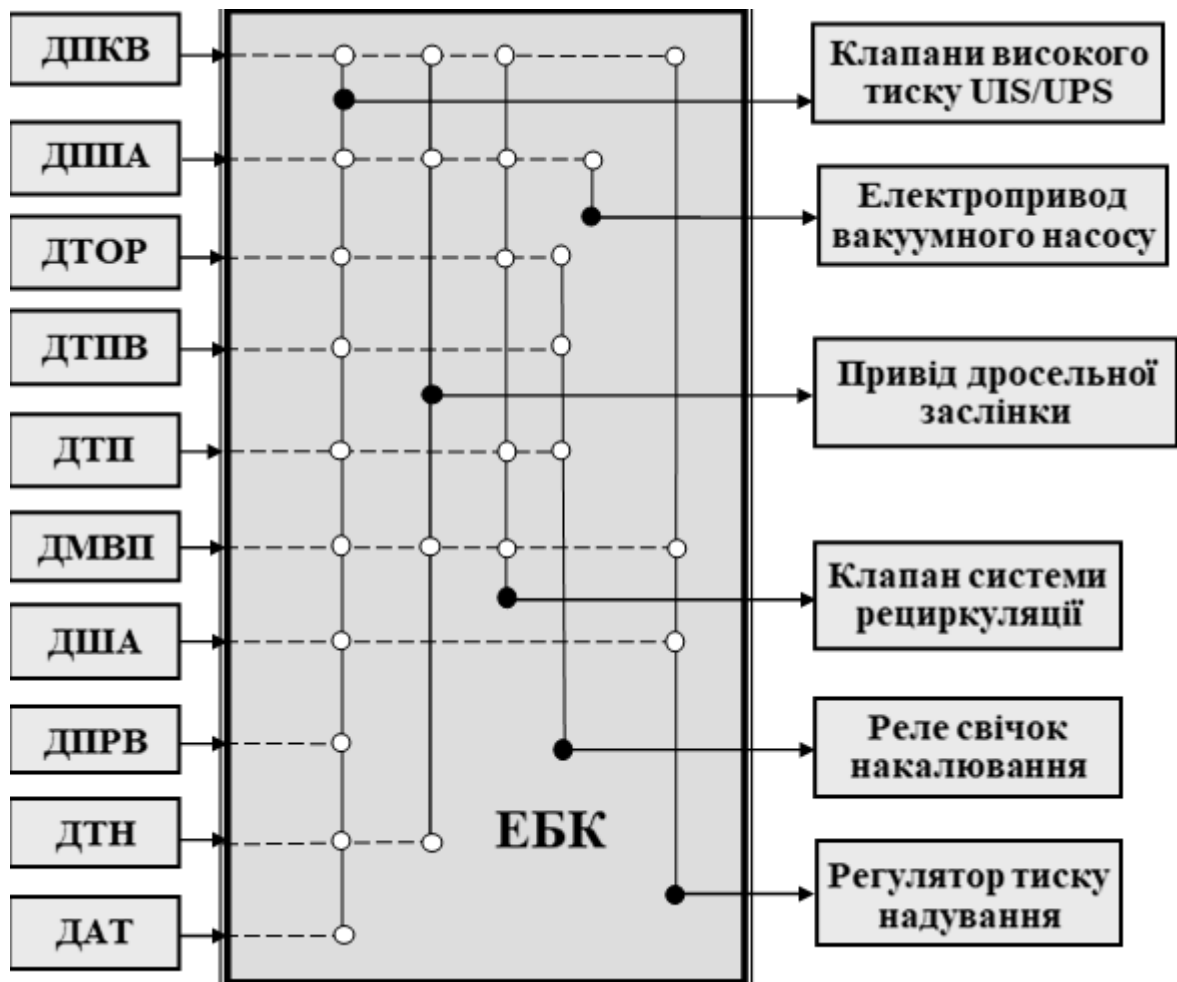


Рис. 3.33. Схема функціональна комплексної системи керування EDC UIS/UPS

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

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

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

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

На підставі сигналу з ДПКВ, *система керування плавністю* роботи двигуна відстежує зміни кутової швидкості обертання колінчастого валу, на час спалаху в циліндрах і порівнює ефективність їх роботи. Залежно від ступеню розбалансу циліндрів відбувається регулювання кількості палива в кожен циліндр. Внаслідок цього, вклад кожного циліндра в створення обертаючого моменту двигуна стає однаковим.

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

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

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

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

Комплексна система управління HEUI, що встановлюється на легкові автомобілі Isuzu, реалізує додаткові функції керування підігрівом повітря і гірськими гальмами у випускному тракті [35] (рис. 3.34).

В системі застосований оригінальний датчик частоти обертання і моменту вприскування інкриментного типу у якості ДПКВ.

Як приклад комплексної системи EDC з паливним акумулятором, розглянемо систему *Common Rail (CR)* фірми Bosch [36] (рис 3.35).

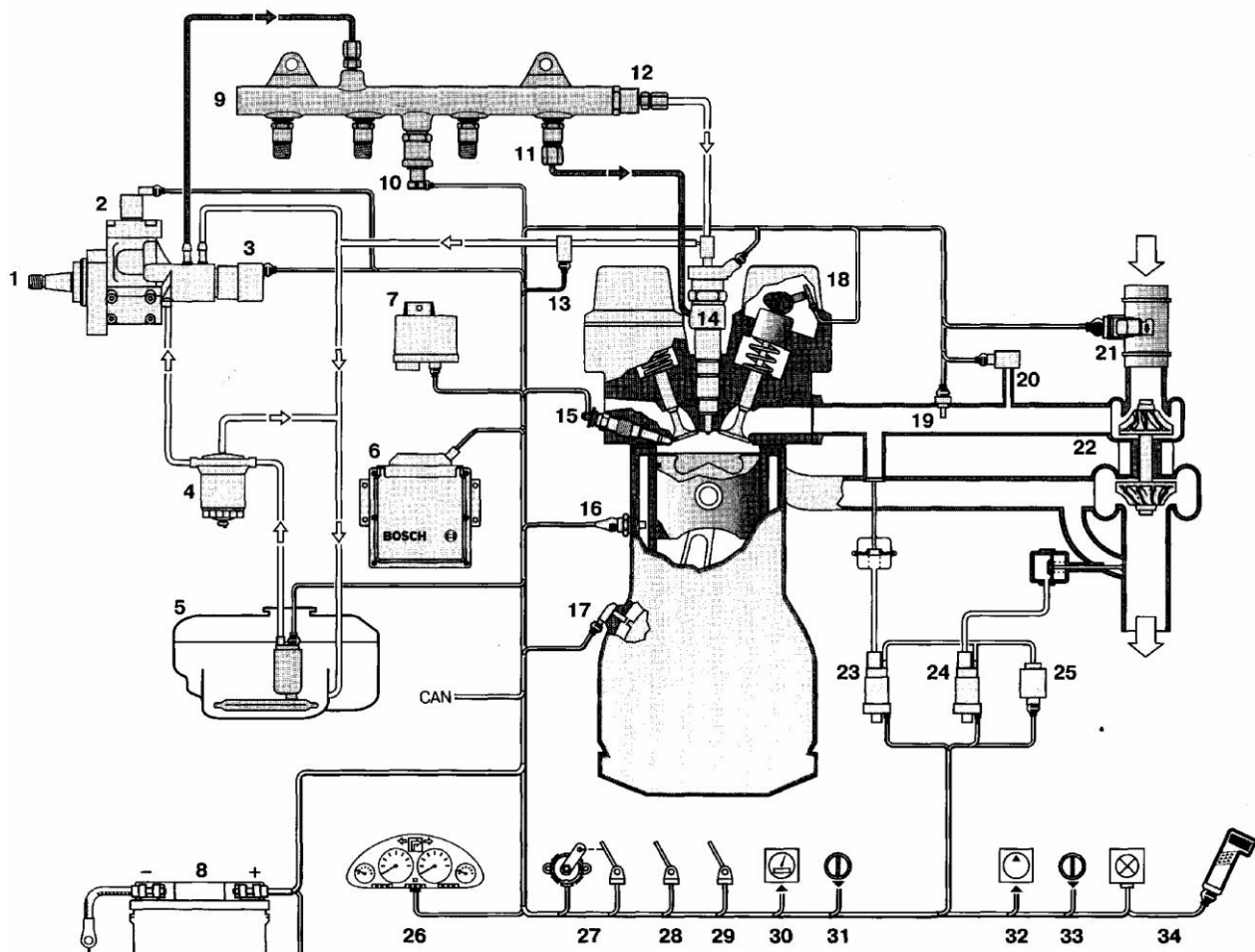


Рис. 3.35. Компонування системи EDC типу Common Rail:

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

Значне споживання енергії кондиціонером робить необхідним його відключення на деяких режимах роботи двигуна. Протиугінна система, забезпечує блокування несанкціонованого пуску двигуна. У комплексній системі керування реалізовані принципи самодіагностики і обмеженого режиму роботи.

В системі CR на відзнаку від системи з насос-форсунками використовується датчик тиску палива в акумуляторі ДТПА (рис. 3.36).



Рис. 3.36. Схема функціональна системи керування типу Common Rail

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

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

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

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

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

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

Контрольні запитання

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

18. Поясніть устрій та функціонування п'єзоелектричних насос-форсунок з механічним приводом.
19. Поясніть устрій та функціонування електромагнітних насос-форсунок з гідравлічним приводом.
20. Поясніть улаштування та функціонування МС подачі палива з рядним ПНВТ.
21. Поясніть улаштування та функціонування МС подачі палива з ПНВТ розподільного типу.
22. Поясніть улаштування та функціонування акумуляторної паливної системи.
23. Поясніть особливості улаштування високовольної акумуляторної паливної системи CR DFi.
24. Поясніть улаштування та функціонування системи впорскування палива з електромагнітними насос-форсунками.
25. Поясніть улаштування та функціонування системи впорскування палива з гідравлічним приводом електромагнітних насос-форсунок.
26. Поясніть улаштування та функціонування системи впорскування палива з індивідуальними ПНВТ.
27. Які додаткові функції реалізовані в комплексних системах керування дизелями?
28. Наведіть перелік датчиків характерних для комплексних систем керування дизельними ДВЗ.
29. Наведіть перелік виконавчих пристроїв характерних для комплексних систем керування дизельними ДВЗ.
30. Поясніть різницю в комплектації датчиків МС систем дизельних ДВЗ з поєднаним і розподіленим керуванням впорскуванням палива.

4. Структура мехатронних систем трансмісії

4.1. Класифікація і структура тягового приводу автомобіля

Силовий привід автомобіля включає: двигун, трансмісію і колеса (як робочий орган), що приводять автомобіль в рух.

Трансмісія (силова передача) – сукупність складальних одиниць і механізмів, що з'єднують двигун з ведучими колесами автомобіля для передачі обертаючого моменту, зміни тягових зусиль, швидкостей і напрямлення руху. В автомобілях частина трансмісії (зчеплення і коробка передач) входить до складу силового агрегату.

До складу *трансмісії* автомобіля входять: зчеплення; коробка передач (КП); роздавальна коробка (коробка відбору потужності); головна передача; диференціал; карданна передача; шарнір рівних кутових швидкостей у складі головної передачі.

В мехатронній системі силового приводу, керуючі впливи на окремі його агрегати здійснюється електронною системою керування в автоматичному чи напівавтоматичному режимі. Лінгвістичні моделі систем керування наведені в табл. 1.1. Структурна класифікація приводу автомобіля, як системи, визначається різновидом її складових (рис. 4.1).

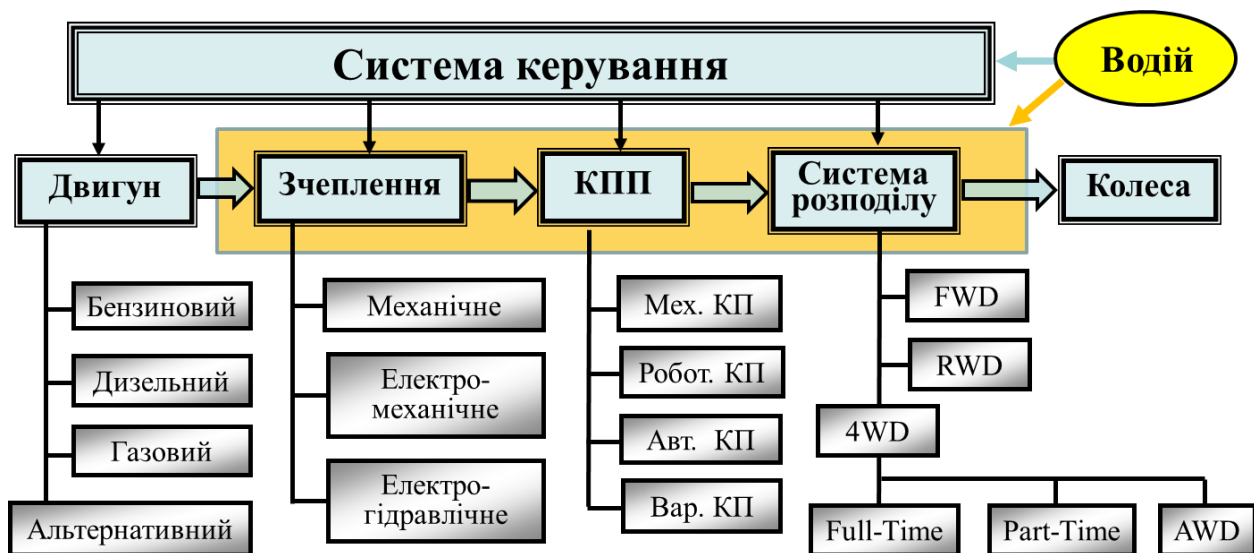


Рис. 4.1. Класифікаційна структура тягового приводу автомобіля

Визначальним поняттям приводу автомобіля є вид *системи розподілу* обертаючого моменту. З цих позицій розрізняють: привід на задні колеса з переднім розміщенням двигуна FR (через диференціал

RWD); привід на передні колеса з переднім розміщенням двигуна FF (через диференціал FWD); повний привід 4WD [3, 37].

Системи повного приводу, в свою чергу, відрізняються за рядом ознак: режим експлуатації (постійний або той, що підключається); спосіб підключення (ручний, напівавтоматичний, автоматичний); динамічні властивості керування (реактивні, активні, превентивні); спосіб керування (електричні, неелектричні).

Реактивне керування властиве неелектричним системам, які характеризуються значною інерційністю реакції пристроїв активізації передаточних і розподільних механізмів.

Активне керування передбачає використання електричних систем керування, що дозволяють досягти практично миттєвої реакції на керуючі впливи. Залежно від рівня інформативності і гнучкості керуючих програм, активні системи керування можуть реалізувати алгоритми жорсткого або адаптивного (зі зміною параметрів регулятора) керування.

Превентивне керування означає упереджену реалізацію керуючих впливів. При цьому, якщо упереджена реакція здійснюється водієм в ручному або напівавтоматичному режимі, то це вважається суб'єктивним превентивним керуванням. У випадку формування керуючих сигналів із застосуванням апаратних засобів в автоматичному режимі, реалізується об'єктивне превентивне керування. Додамо, що автоматичне підключення повного приводу може здійснюватися як електричним способом, так і неелектричним.

Для механічних систем, в яких не використовуються електричні пристрої керування, прийнято розглядати чотири види систем повного приводу: постійний Full-Time 4WD; привід, що підключається примусово Part-Time 4WD; з автоматичним підключенням AWD (All-Wheel Drive); привід що, відключається Full-Time.

Залежно від базової компоновки трансмісії і ДВЗ передача тягового зусилля на ведену вісь може здійснюватися за рахунок частини обертаючого моменту повідної (задньої або передньої) осі автомобіля (рис. 4.2).

Привід Full-Time 4WD використовує режим 4WD постійно і функціонує однаково на будь-якій поверхні дороги. У такій системі, розподіл обертаючого моменту здійснюється за допомогою міжколісних 1 і міжосьових 2 диференціалів (рис. 4.2, а).

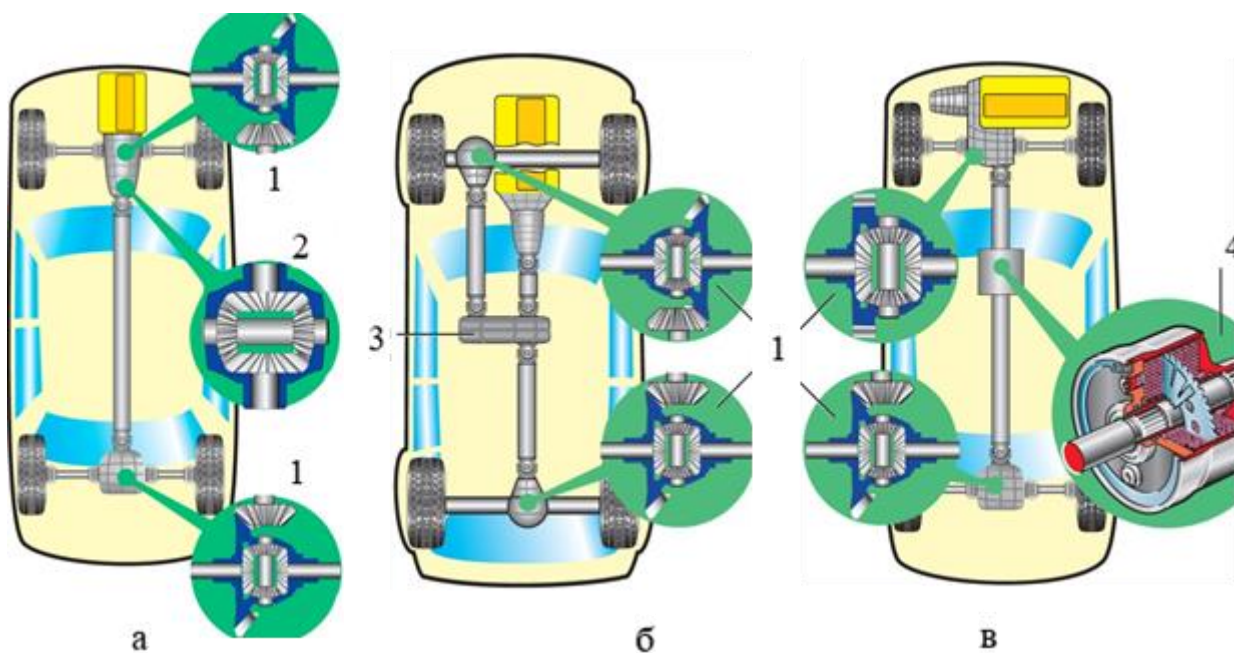


Рис. 4.2. Системи повного приводу автомобіля з переднім ДВЗ:
а – постійно увімкнений; б – примусового вмикання;
в – з автоматичним вмиканням

Класичне співвідношення розподілу обертаючого моменту між осями – 50:50. У деяких сучасних автомобілях використовуються несиметричні диференціали до 30:70. З метою поліпшення позашляхових характеристик автомобіля для блокування міжосьового диференціала застосовуються муфти Torsen і віскомуфти (рис. 4.3).

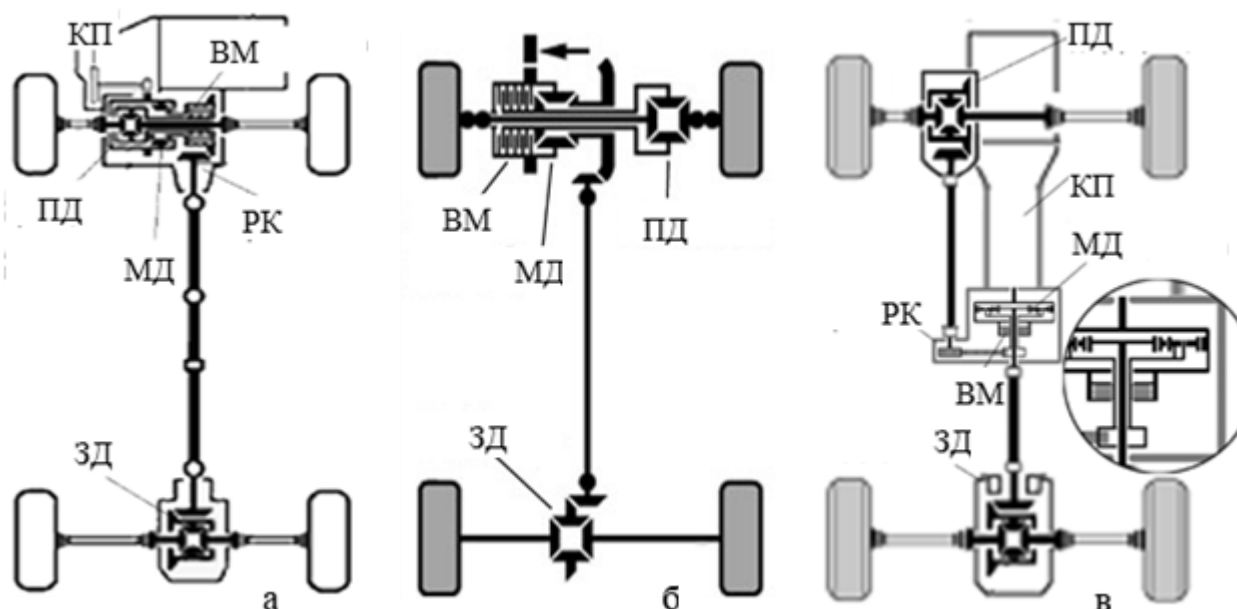


Рис. 4.3. Схеми трансмісій постійного повного приводу з блокуючою муфтою: а – STD II (Toyota); б – Full Time (Nissan); в – Full Time-V (Toyota)

На рис. 4.3. і далі, позначено: ВМ – віскомуфта; КП – коробка передач; ПД – передній диференціал; ЗД – задній диференціал; МД – міжосьовий диференціал; РК – роздавальна коробка.

Привід Part-Time 4WD найпростіша і надійна система (міжосьовий диференціал відсутній), з ручним підключенням повного приводу автомобіля, за допомогою роздавальної коробки 3 (рис. 4.2, б). В режимі 4WD, жорстке підключення додаткового моста забезпечує однакову швидкість обертання коліс передньої і задньої осі. При наявності в роздавальній коробці понижувальної передачі, селектор вибору приводу дозволяє реалізувати три фіксованих режими 2WD, 4WD High, 4WD Low. Для зменшення витрати палива при русі по дорогах загального користування, передбачені механічні муфти вільного ходу (муфти, що роз'єднують – хаби), за допомогою яких водій може від'єднувати приводні вали від коліс в режимі 2WD. Головний недолік такої системи в тому, що не можна використовувати 4WD на сухому асфальті, так як це може призвести до пошкоджень механізму. Таким чином, в основному використовується режим 2WD, а при необхідності, задіється режим 4WD.

Привід AWD використовується в кросоверах без міжосьового диференціала. Цей тип приводу, як правило, передає обертаючий момент на передні колеса і тільки при необхідності, автоматично підключає в роботу колеса задньої осі через муфту обмеженого ковзання 4 (рис. 4.2, в). Для цих цілей використовуються неелектричні муфти реактивної дії (в'язкісні, героторні).

Привід, що відключається Full-Time побудований на базі постійного повного приводу, в якому передбачено механічне відключення приводу коліс, як правило передніх, за допомогою хабів. Для відключення або підключення коліс, водієві необхідно зупинити автомобіль, вийти з кабіни і вручну зробити належні операції.

Для автомобілів з повним приводом розрізняють два рівня реалізації електричних систем керування – електромеханічні і електронні. Електромеханічні системи забезпечують дистанційне керування виконавчим пристроєм по командам водія (автоматизовані системи). У таких системах використовуються пневмоелектричні і електромагнітні муфти, що роз'єднують (муфти вільного ходу – хаби) типу ADD (Automatic Differential Disconnect) або хомутові конструкції – Hub з електроприводом (рис. 4.4).

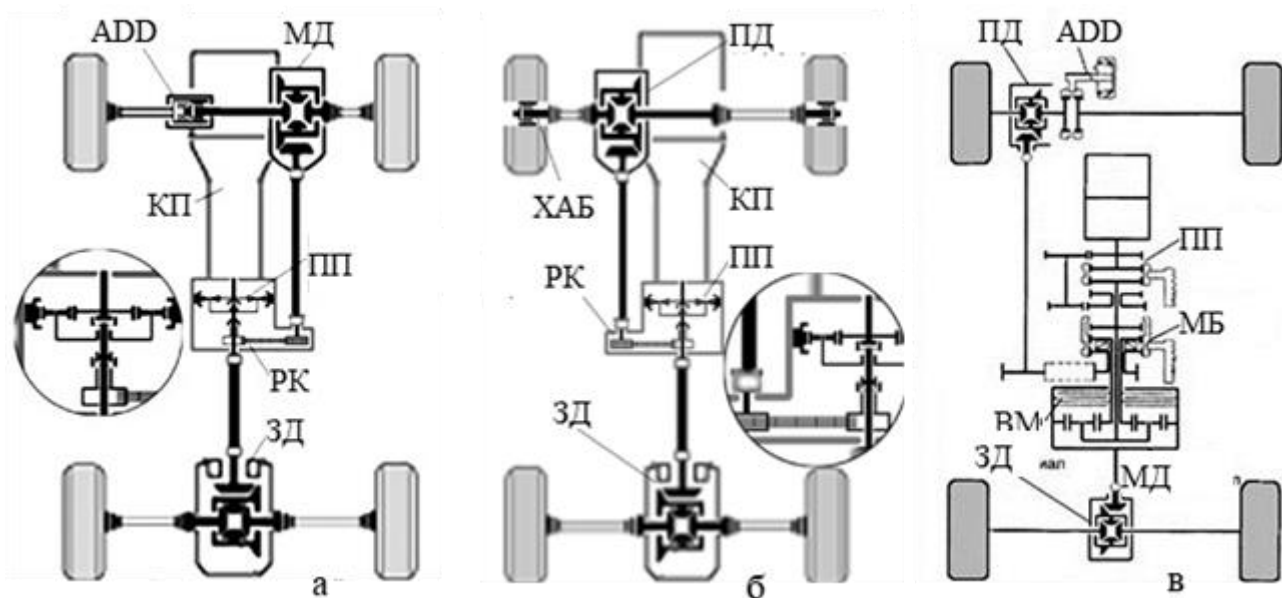


Рис. 4.4. Схеми автоматизованих трансмісій повного приводу:
 а – Part Time-ADD (Toyota); б – Part Time-Hub (Toyota);
 в – Super Select (Mitsubishi)

Застосування муфт ADD і Hub при переході на режим 2WD заднього приводу дозволяє відключити приводні вали передньої осі від коліс з метою зниження втрат потужності на обертання деталей трансмісії, які не беруть участі в передачі обертаючого моменту.

Застосування дистанційного керування дозволяє реалізувати системи, так званого повного приводу, який відключається, на базі Part Time трансмісій. Так, наприклад, трансмісія Super Select складається з двоступеневого демультіплікатора (понижувальної передачі ПП) і роздавальної коробки (рис. 4.4, в). Роздавальна коробка забезпечує розподіл обертаючого моменту між мостами автомобіля в одному з трьох режимів: тільки на задній міст; на обидва мости за допомогою міжосьового диференціала з віскомуфтою; на обидва мости при заблокованому міжосьовому диференціалі (механізм блокування МБ). У трансмісії Super Select II керування здійснюється сервоприводом для зниження зусилля на важелі вибору режимів. Крім того, коробка передач з електронним керуванням запобігає включенню експлуатаційного режиму, який може привести до поломки окремих елементів трансмісії.

Застосування електронних систем, що дозволяють реалізувати гнучкі алгоритми превентивного і адаптивного керування, розширило традиційні визначення видів повного приводу. Поряд з поняттям Full-Time, з'явилася назва псевдо постійного приводу. Поняття AWD (автоматичне підключення) трансформувалося в назву TOD (Torque On

Demand) – підключення на замовлення. Окремі варіанти AWD отримали назви адаптивного Full-Time або електронної версії Part-Time. Така багатогранність визначення привела до неоднозначної класифікаційної структури видів повного приводу.

Характерною класифікаційною ознакою мехатронних систем повного приводу можна вважати принцип будови керуючого пристрою зі змінним ступенем зчеплення, під загальною назвою ELS (Electronically Limited Slip). Основою ELS-пристроїв є багатодискова фрикційна муфта (механічна), ступінь зчеплення якої, визначається значенням електричного сигналу. При цьому, ELS-муфти різних типів відрізняються за принципом будови (способом реалізації) системи перетворення керуючого впливу:

- гідроелектричні (з ЕК), скорочено гідромеханічні Н-муфти;
- пневмоелектричні (з ЕК), скорочено пневмомеханічні Р-муфти;
- електрогідравлічні (з електронасосами) – G-муфти;
- електромагнітні (з лінійними приводами) – Е-муфти;
- електромеханічні (з сервоприводами) – М-муфти;
- комбінованого перетворення.

Так, наприклад, в мехатронних системах псевдо-постійного включення Full-Time-H замість віскомуфти використовується гідромеханічна муфта (Н-муфта) обмеженого ковзання ELS (рис. 4.5).

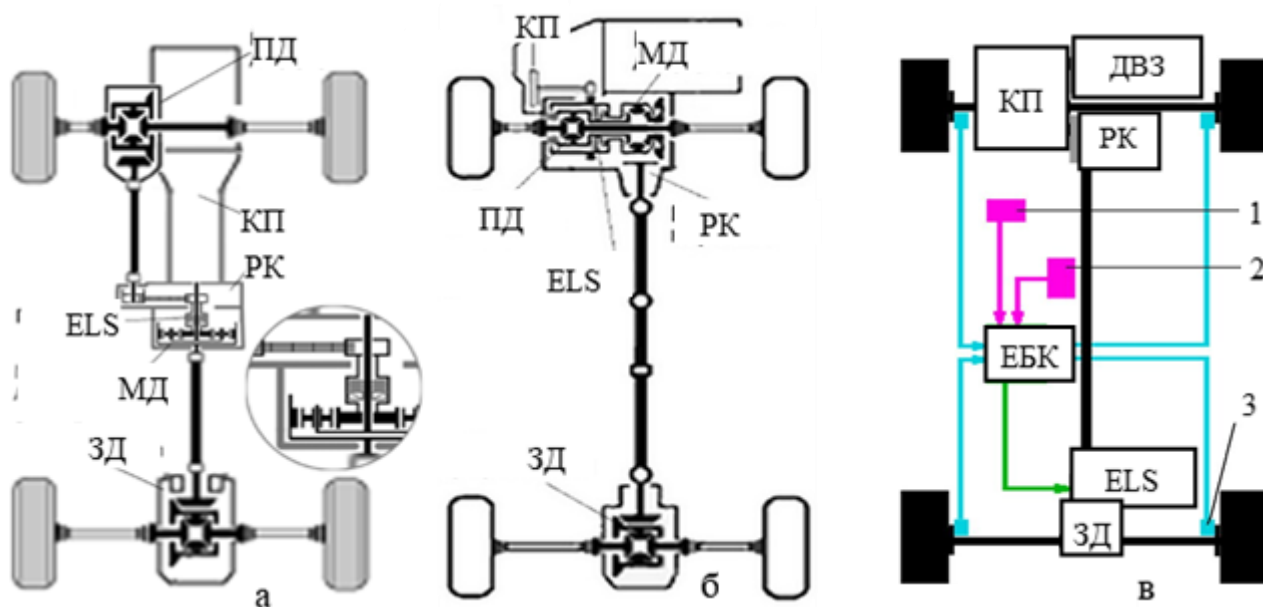


Рис. 4.5. Схеми мехатронних трансмісій повного приводу:
а – Full-Time H (Toyota); б – STD I (Toyota); в – All-Mode (Nissan)

У схемах Full-Time H і STD I передача обертаючого моменту на задню вісь здійснюється за рахунок блокування гідромеханічної муфти в структурі міжосьового диференціала, розташованого в роздавальній коробці.

В окрему групу приводу Full-Time можна виділити трансмісії з роздавальною коробкою без міжосьового диференціала і вільними міжколісними диференціалами. Електроніка ABS, в таких системах, забезпечує розподіл обертаючого моменту між колесами кожної осі шляхом пригальмовування коліс які буксують (імітація блокування міжколісних диференціалів). За таким же принципом побудовані і системи повного приводу типу All-Mode, в яких додатково в якості міжосьового диференціала використовується ELS-муфта (рис. 4.5, в). На рисунку позначені датчики: 1 – кута повороту керма (системи EPS); 2 – бічного прискорення (системи ESP); 3 – швидкості обертання коліс (системи ABS). Така композиція дозволяє в повній мірі використовувати всі переваги режимів початкового переднього приводу, Part Time, Full Time і AWD. У системах з автоматичним підключенням повного приводу знайшли застосування ELS-муфти різного принципу будови, які отримали фірмові назви TOD-муфти (момент на замовлення) та ATC-муфти (Active Torque Control). Схема установки ELS-муфти забезпечує повне або дозоване підключення заднього або переднього мостів (рис. 4.6).

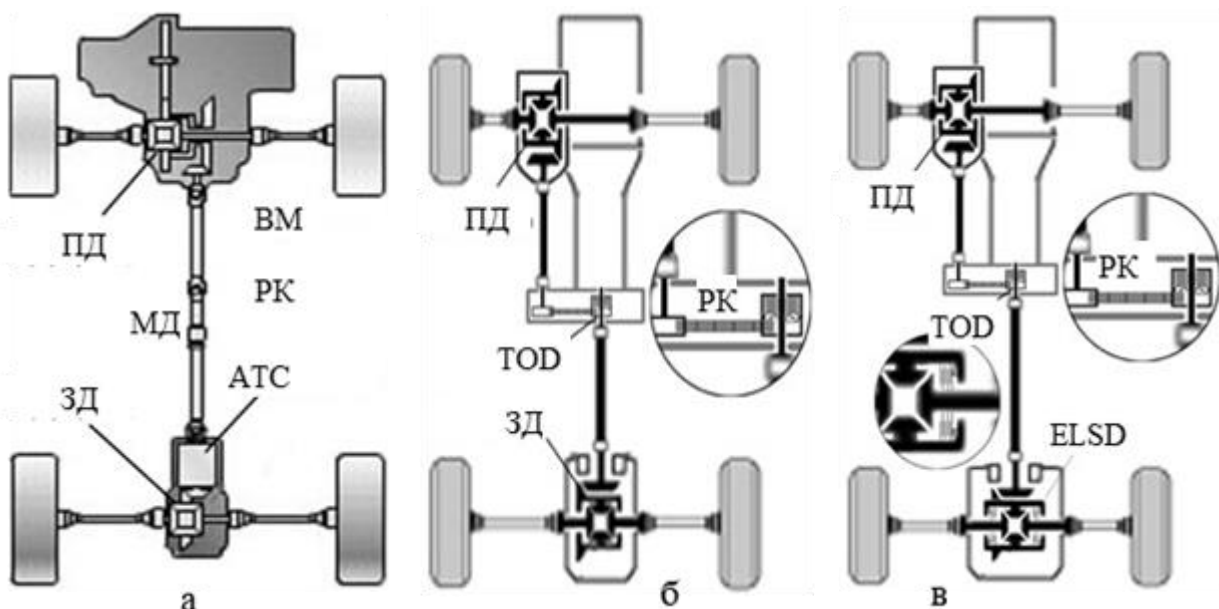


Рис. 4.6. Схеми мехатронних трансмісій повного приводу, який підключається: а – ATC (Nissan); б – TOD (Nissan); в – GT-R (Nissan)

Таким чином, ELS-муфта в режимі повного приводу виконує функції міжосьового диференціала (ELSD). Незалежне керування півсями заднього моста шляхом блокування заднього диференціала (рис. 4.6, в) дозволяє реалізувати мехатронні системи приводу з керуванням вектору тяги автомобіля за схемою TVD (Torque Vectoring Differential). У схемі DTV (Dynamic Torque Vectoring) аналогічна задача вирішується шляхом безпосереднього підключення півосі після головної передачі через ELS-муфти без заднього диференціала. Для зниження втрат на обертання незадіяних елементів трансмісії на режимі 2WD, в таких системах, передбачено розмикання силового приводу в роздавальній коробці і задньому редукторі.

Кінцевою класифікаційною ознакою при визначенні конкретного типу системи повного приводу є маркетингова назва, яка комплексно характеризує спосіб керування приводом, який застосовується розробником-виробником на конкретних марках і моделях автомобілів [37]. Таким чином, систематизувати інформацію про повний привід автомобіля можна за кількома ознаками:

- режимом підключення (видом повного приводу);
- маркою автомобіля з повним приводом;
- типовою схемою трансмісії;
- типом керованого пристрою;
- маркетинговою назвою системи (з урахуванням поколінь).

Зі сказаного випливає, що одна і та ж система повного приводу може характеризуватися, як мінімум чотирма назвами. Обмежимося розглядом систем повного приводу, де керуючі впливи реалізуються за допомогою електрично-керованих виконавчих пристроїв.

Орієнтуючись, наприклад, на режим підключення і спосіб розподілення, можна перерахувати відповідні марки автомобілів:

- постійний повний привід з електронно-керованими гідромеханічними муфтами (Land Rover Defender, Land Rover Discovery, Mercedes G-class, Lada Niva);

- псевдопостійний повний привід з електронно керованими гідромеханічними муфтами (BMW X5, Ford Kuga, Chevrolet Captiva, Honda CR-V, Hyundai Tucson, Hyundai Santa Fe, Infiniti EX/QX/FX35, Nissan X-Trail);

- повний привід з ручною або напівавтоматичною роздавальною коробкою (Jeep Wrangler, SsangYong Rexton, SsangYong Kyron, Suzuki Jimny, Great Wall Haval);

- повний привід, що відключається, з дистанційним пневматичним або електромеханічним керуванням (Mitsubishi Pajero, Lexus/Toyota, Land Cruiser).

Використовуючи маркетингові назви, можна дати коротку комплексну характеристику деяких мехатронних систем повного приводу провідних автовиробників:

- Quattro III (Audi) – система Full-Time приводу з гідроелектричною ELS-муфтою замість міжосьового диференціала, передній міжколісний диф-ференціал вільний, задній диференціал Torsen;

- Quattro VI (Audi) – система псевдо Full-Time приводу з гідроелектричною ELS-муфтою замість міжосьового диференціала, міжколісні диференціали вільні з імітацією блокування ABS;

- Quattro VII (Audi) адаптивний Full-Time привід, що автоматично підключається електронікою за допомогою гідроелектричної ELS-муфти типу Haldex;

- Quadra-Trac II (JEEP) – активна система Full-Time приводу з міжосьовою ELS-муфтою і диференціалом в роздавальній коробці;

- Quadra-Drive II (JEEP) – активна система Full-Time з ELS-муфтами в міжосьовому і міжколісних диференціалах обох мостів;

- 4motion (Volkswagen) – системи AWD приводу з гідроелектричною ELS-муфтою типу Haldex (різних поколінь);

- 4Matic (Mercedes-Benz) – система адаптивного Full-Time приводу з планетарним редуктором і ELS-муфтою в коробці передач або роздавальній коробці, міжколісні диференціали вільні з імітацією блокування ABS;

- ATTESA (Nissan) – система AWD приводу з міжосьовою електромагнітною ELS-муфтою, яка забезпечує діагональний перерозподіл тяги за рахунок пригальмовування коліс, які буксують (ABS);

- x-Drive (BMW) – система AWD приводу з фрикційною електро-механічною ELS-муфтою в якості міжосьового диференціала в роздавальній коробці (працює спільно з електронними системами керування динамікою автомобіля);

- DCCD (Subaru) – система AWD приводу з електромагнітною ELS-муфтою в складі здвоєного міжосьового диференціала;

- SH-AWD (Honda) – система AWD приводу з двома електромагнітними ELS-муфтами на півосях заднього моста (векторизація тяги);

- AWC (Mitsubishi) – система AWD приводу з міжосьовою ELS-муфтою;

- S-AWC I (Mitsubishi) – система AWD приводу з електромагнітною ELS-муфтою в передньому активному диференціалі і міжосьовою електромагнітною ELS-муфтою (векторизація тяги);

- S-AWC II (Mitsubishi) – система AWD приводу з електрогідравлічною ELS-муфтою в передньому активному диференціалі і двома електрогідравлічними ELS-муфтами в задньому активному диференціалі (векторизація тяги).

До переліку розглянутих, слід віднести і системи AWD приводу гібридних силових установок. Так, наприклад, в конфігурації гібрида Outlander PHEV (Mitsubishi), ДВЗ підключається через електромагнітну ELS-муфту до переднього вільного диференціалу паралельно з електроприводом передніх коліс. Задні колеса приводяться від автономного електродвигуна через вільний диференціал. Вектор тяги керується шляхом пригальмовування коліс задньої осі (ABS). Аналогічним чином побудовані системи E-Four (Nissan) і E-tron Quattro (Audi).

4.2. Устрій передаточних муфт і роздаткових коробок

До пристроїв розподілу обертаючого моменту відносяться: передаточні муфти; роздавальні коробки; диференціали. Передаточні муфти зчеплення класифікують за рядом ознак:

- призначенням: вільного ходу (обгінні), зачіпні (жорсткі), зчіпні (підвищеного тертя);

- ступенем блокування: неблоковані, блоковані примусово (превентивні), само-блоковані (реактивні);

- способом передачі обертаючого моменту: механічні (зубчасті, фрикційні), гідравлічні (в'язкісні), магнітострикційні (порошкові, рідинні), магнітоіндукційні (вихрові);

- принципом формування керуючого впливу: механічні, гідравлічні (героїдні), пневматичні, електричні, комбіновані;

- ступенем керування: функціональної передачі, дискретного включення;

- способом електричного керування: електроклапанні, соленоїдні, електромоторні;

- типу промислової реалізації: АТС-муфти, ІТМ-муфти, TOD-муфти, муфти Haldex.

Фрикційна муфта – пристрій, призначений для передачі обертового моменту за рахунок сили тертя ковзання. Фрикційні муфти розрізняють за трьома ознаками:

- конструкції робочих поверхонь: дискові, конусні, барабанні, стрічкові;
- способу створення сил тертя (механізму натискування) з: пружиною, зовнішнім навантаженням, відцентровим автоматом, кулачковою шайбою, гідравлічним (пневматичним) циліндром, електромагнітним приводом, комбіновані;
- типу сил тертя: сухі, мастильні.

Конструкція багатодискової муфти з гідравлічним (поршневим) керуванням складається з: фрикційних дисків 1; сталевих дисків 2; мастила 3; повертаючої пружини 4; поршня 5 (рис. 4.7, а, б).

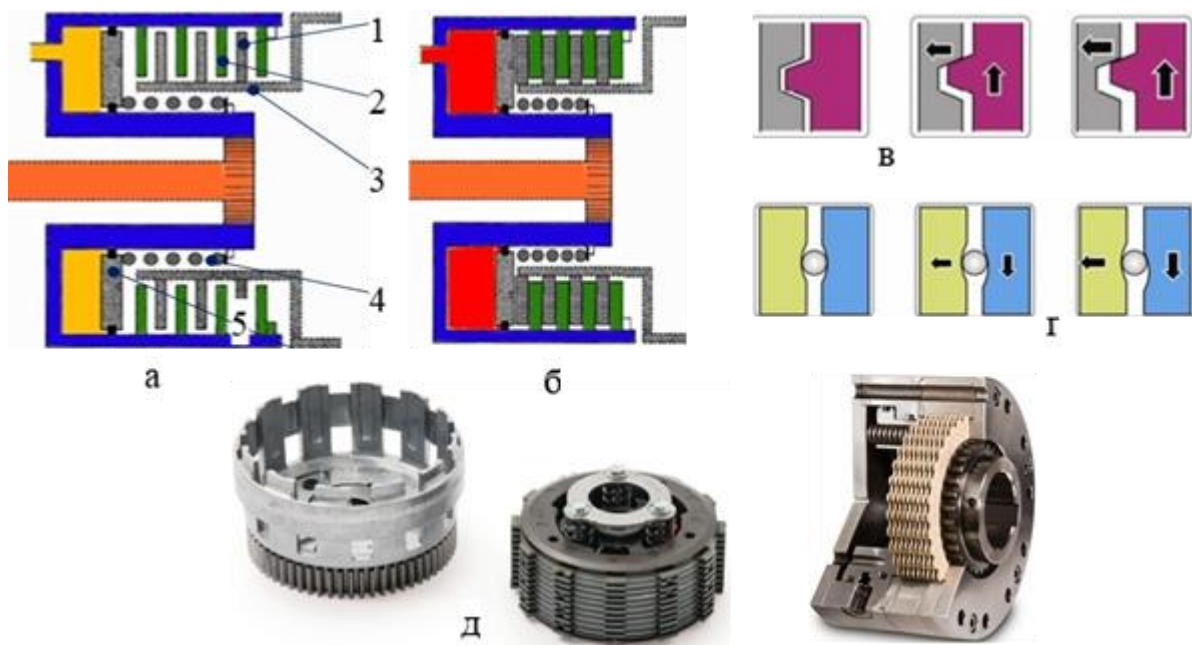


Рис. 4.7. Пристрій фрикційної муфти: а – без подачі керуючого тиску; б – у включеному стані; в, г – притискні механізми; д – зовнішній вигляд

Для зміни ступеню зчеплення в фрикційних муфтах обмеженого тертя також використовуються дискові притискні механізми кулачкового (рис. 4.7, в) і кулькового типу (рис. 4.7, г), які забезпечують самоблокування і електрично-кероване блокування пакетів дисків муфти.

Віскомуфта обмеженого тертя – механічний пристрій, що передає обертаючий момент за допомогою в'язкої рідини. Віскомуфта має корпус 1, всередині якого розташовані набори повідних 2 і

ведених 3 дисків, які розміщуються почергово один до одного і жорстко з'єднані з відведучими валами 4, 5 (рис. 4.8).

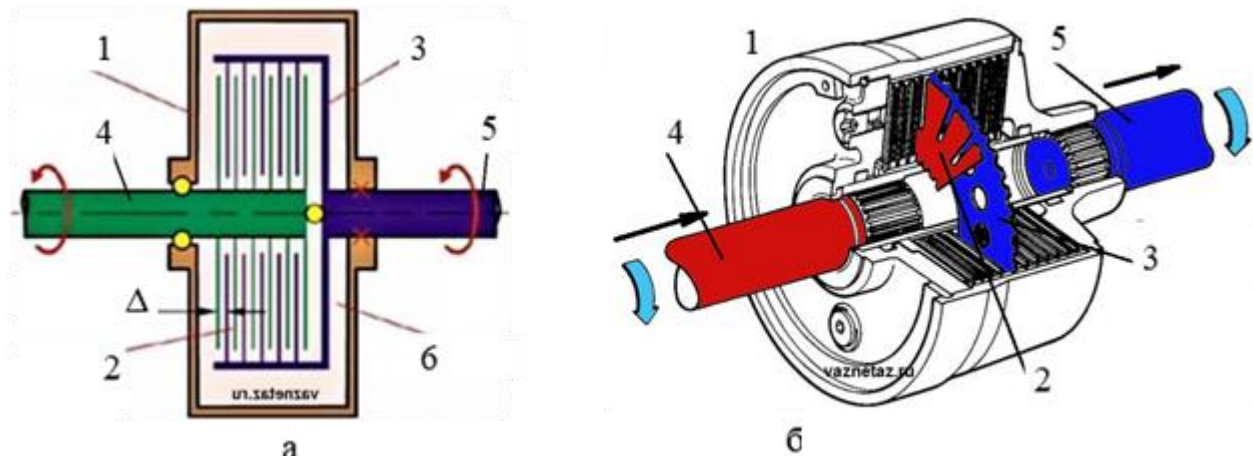


Рис. 4.8. Устрій в'язкісної муфти: а – схема; б – конструкція

Відстань між дисками Δ – мінімальна. Корпус 1 заповнений спеціальною рідиною на силіконовій основі 6. Ця рідина має властивість ставати більш в'язкою при перемішуванні, а при інтенсивному русі, коли сила гідродинамічного опору зростає, вона набуває властивостей пластичного тіла. При цьому, відбувається нагрівання і розширення рідини, спричиняючи ефект сухого тертя між дисками. При уповільненні руху рідини, спостерігаються протилежні процеси. Таким чином, якщо, виникає різниця між швидкостями обертання валів, в'язкість рідини зростає, збільшуючи силу зчеплення.

Героїдна муфта у своєму складі має героторний насос (принцип дії, як у шестерного масляного насосу з внутрішнім зачепленням). Роторна частина насоса приводиться в дію входним валом, а корпус – вихідним (рис. 4.9).

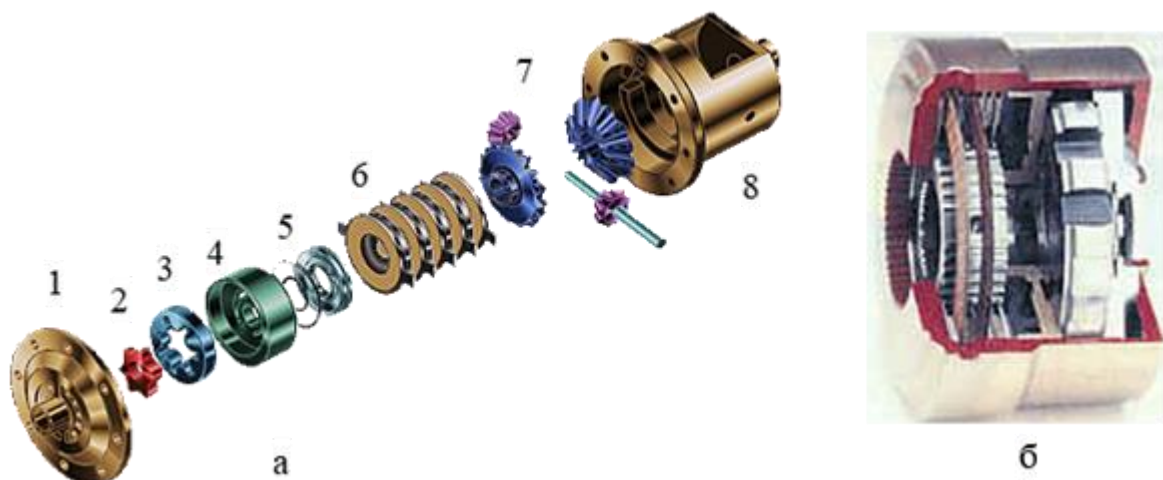


Рис. 4.9. Героїдна муфта: а – устрій; б – загальний вигляд узборі

На рис. 4.9 позначено: 1 – передня кришка; 2, 3 – внутрішня та зовнішня шестерня гідронасосу; 4 – корпус гідронасосу; 5 – поршень гідроприводу з повертаючою пружиною; 6 – фрикційні диски; 7 – планетарна передача; 8 – задня кришка. Тиск масла залежить від різниці швидкостей обертання валів. Створюваний в результаті тиск, передається через поршень до багатодискової фрикційної муфти. Сила тертя в муфті зростає і вали блокуються.

Жорсткі зачіпні муфти призначені для повної передачі обертаючого моменту за рахунок введення в зачеплення торцевих зубчастих дисків. Керування зачепленням проводиться або за допомогою мембранного пневмоприводу, або за допомогою електромагніту (рис. 4.10).



Рис. 4.10. Устрій зачіпних муфт:

а – з пневматичним приводом; б, в – з електромагнітним приводом

На рис. 4.10 позначено: 1 – мембрана; 2 – пневматична камера; 3 – повідний вал; 4 – монтажне кільце; 5 – пневматичний канал. Застосовуються в системах приводів в яких автоматично від'єднуються колеса (ADD – Automatic Differential Disconnect).

Фрикційні муфти з електромагнітним керуванням мають обмотку (соленоїд), поле якої впливає на переміщення в осьовому напрямку сердечника (якорю) з притискним механізмом [38]. Для фрикційної передачі обертаючого моменту розрізняють конструкції муфт з безпосереднім електромагнітним керуванням (ІТМ муфти) і муфти з керуючим фрикціоном (АТС муфти), заповнені маслом (рис. 4.11).

Конструкція електромагнітних муфт безпосереднього керування (рис. 4.11, а) включає: кришку повідного валу 1; посадку веденого валу (якоря) 2; соленоїд 3; кульковий притискний механізм 4; якірний диск 5; пакет фрикціона 6.

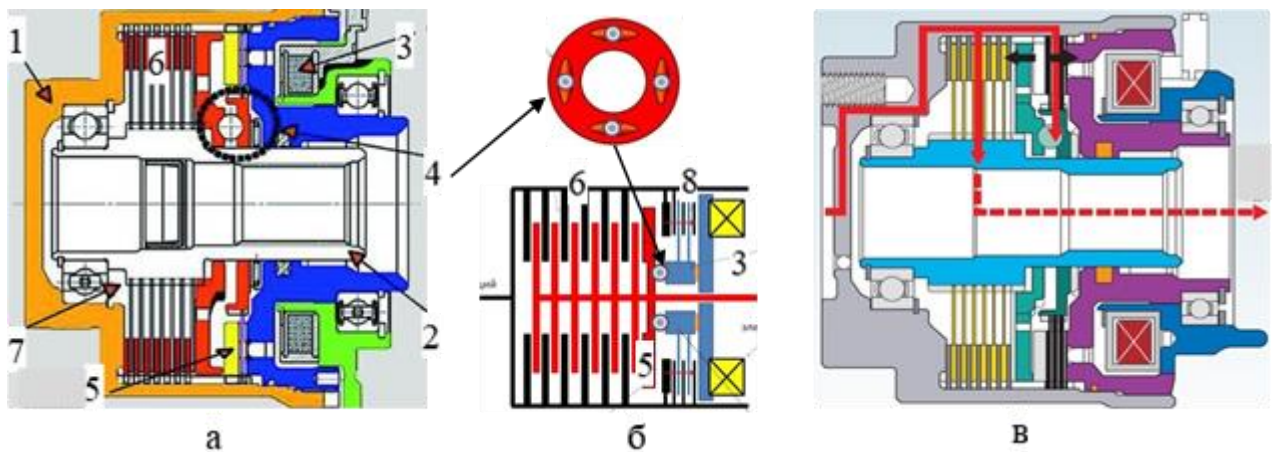


Рис. 4.11. Електромагнітні фрикційні муфти:

а – пристрій з безпосереднім керуванням; б – схема з керуючим фрикціоном;
в – передача обертаючого моменту в муфті з керуючим фрикціоном

Роторна частина муфти поміщена в робочу рідину 7. Муфти такого улаштування ITM (Interactive Torque Management) і VTM-4 (Variable Torque Management) використовуються в системах повного приводу автомобілів Honda. Для зниження потужності електромагніту при заданому зусиллі зчеплення, в конструкцію муфти додають ланку підсилення – керуючий фрикціон.

Муфта ATC (Active Torque Control) – фрикційна муфта з електромагнітним керуванням, що використовується фірмою Toyota в системах 4WD TOD. На деяких моделях, система позначається DTC (Dynamic Torque Control). Муфта забезпечує передачу моменту на задню вісь, яка підключається, і встановлюється безпосередньо перед заднім редуктором. Зовнішні частини головного 6 і керуючого 8 фрикціонів закріплені на передній кришці повідного валу 1, внутрішня частина головного фрикціона – на веденому валу 2, внутрішня частина керуючого фрикціона – на фасонній шайбі притискного механізму 4 (рис. 4.11, б).

У початковому стані (електромагніт знеструмлений) фрикціони вимкнені, потужність через муфту не передається. При подачі струму на соленоїд 3, якірна частина притягується, замикаючи керуючий фрикціон 8. При цьому, фасонна шайба повертається, кульки переміщуються по пазах, забезпечуючи поступальний рух притискному диску 5, який, у свою чергу, стискає пакет головного фрикціона 6. Потужність передається від передньої кришки (повідного валу) на ведений

вал (рис. 4.11, в). Значення притискного зусилля та моменту, що передається, регулюється зміною сили струму в обмотці електромагніту (ШІМ-керування).

Електрогідравлічні муфти Haldex мають кілька конструктивних рішень (поколінь) гідравлічної частини [39]. У першому і другому поколіннях Haldex, різниця швидкостей обертання передньої і задньої осей автомобіля використовувалася для роботи механічного насоса, що створює робочий тиск масла. Виконавчим пристроєм, який керує тиском в магістралі гідромеханічної фрикційної муфти, є електромагнітний клапан. В системі першого покоління задіяно два електричних компонента. Перший – електричний насос попереднього тиску в системі, другий – електромеханічний клапан з кроковим двигуном, для зниження тиску і, як наслідок, розмикання багатодискового фрикційного зчеплення муфти. У другому поколінні муфти Haldex, електро-механічний клапан керування тиском замінили електромагнітним і збільшили продуктивність електронасоса підкачки (рис. 4.12).

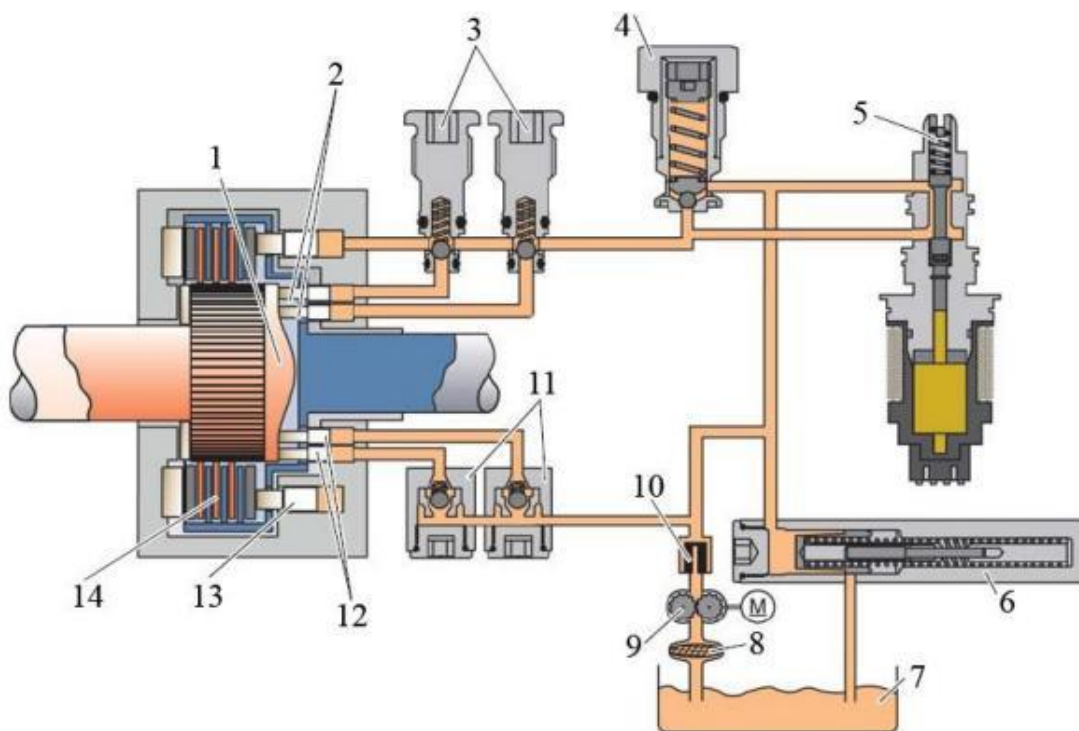


Рис. 4.12. Гідравлічна частина муфти Haldex II:

- 1 – кулачкова шайба; 2 – ролики насосних поршнів; 3 – нагнітальні клапани;
- 4 – запобіжний клапан; 5 – регулятор тиску керування муфтою;
- 6 – гідроаккумулятор; 7 – резервуар робочої рідини; 8 – сітчастий масляний фільтр;
- 9 – електронасос; 10 – фільтр; 11 – впускні клапани; 12 – насосні поршні;
- 13 – робочий поршень; 14 – пакет дисків

Тиск підживлення (0,4 МПа), що створюється електронасосом 9, через впускні клапани 11 надходить в робочу порожнину основного механічного насоса і впливає, як на поршні насоса 12, так і на робочі поршні 13. При цьому, поршні притискаються до робочих поверхонь, усуваючи зазори в сполученнях поршнів і наборі фрикційних дисків.

При відносному обертанні валів муфти, поршні насоса 12 приводяться в дію кулачковою шайбою 1 за допомогою роликів 2. Робочий тиск в порожнині насоса підтримується нагнітальними клапанами 3 і обмежується запобіжним клапаном 4 на рівні 3 МПа. При спрацьовуванні клапана 4, масло перепускається в живильну магістраль і резервуар 7, через гідроаккумулятор 6. В результаті, якщо клапан керування 5 перекритий, робочий тиск, що створюється механічним насосом, впливає на робочі поршні 13 і повністю замикає фрикційні пари 14 (блокування муфти).

При відкритті керуючого клапана 5, рідина зливається в піддон 7 через гідроаккумулятор 6. При цьому, робочий тиск в системі гідроприводу знижується, диски 14 розпускаються (муфта розблокована). Змінюючи режим комутації гідроклапану керування 5 (керування ШІМ-сигналом), можна змінювати ступінь блокування муфти. Гідроаккумулятор 6 поряд з підтриманням тиску підживлення, вирівнює коливання тиску в системі. При відсутності надлишкового тиску в живильній магістралі, пружина акумулятора максимально розціплена і масло через акумулятор не скидається.

У третій генерації муфти Haldex III задіяний спеціальний електронасос підживлення, який дозволив забезпечити часткове замикання фрикційної муфти по командам електроніки, навіть на не рухомому автомобілі.

У муфт Haldex IV і V поколінь, на відміну від попередніх, тиск в гідросистемі муфти створюється тільки електричним насосом. Поряд з цим використовується вдосконалена система гідравлічного керування фрикційною муфтою за допомогою перемикаючого електроклапану (рис. 4.13).

Блок керування муфтою отримує необхідну інформацію від датчиків різних систем автомобіля: поперечного прискорення і поздовжнього прискорення (система ESP), обертів ДВЗ і положення педалі акселератора (система DME/DDE), частоти обертання коліс (система ABS), вимикача стоп-сигналу і кута повороту керма (система EPS).

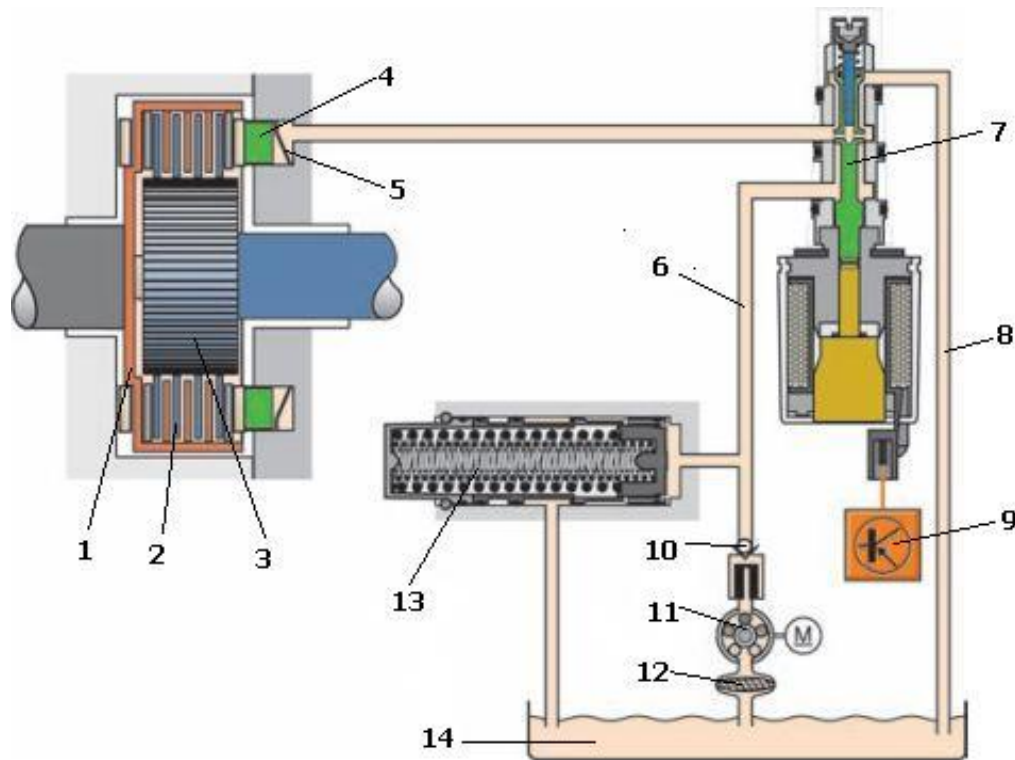


Рис. 4.13. Гідравлічна частина муфти Haldex V:

- 1 – барабан; 2 – пакет фрикційних дисків; 3 – маточина; 4 – поршень;
 5 – тарілчаста пружина; 6 – магістраль подачі; 7 – клапан керування;
 8 – зворотна магістраль; 9 – блок керування; 10 – зворотний клапан;
 11 – насос; 12 – мастильний фільтр; 13 – акумулятор тиску; 14 – масляний бак

При натисканні на педаль акселератору, муфта превентивно блокується, не чекаючи моменту пробуксовки коліс.

У муфті Haldex п'ятого покоління запропонованої фірмою «Borg Warner» з 2012 року, використовуються оригінальні конструкції електрогідравлічного зчеплення з шестициліндровим поршневым насосом і вбудованим в нього відцентровим регулятором. При цьому, відпала необхідність в гідроакумуляторі, клапані керування стисненням і фільтрі. Компонування вузлів и деталей муфти п'ятого покоління показано на рис. 4.14.

На рис. 4.14 позначено: 1 – фланець кріплення приводу задньої осі; 2 – запобіжний клапан; 3 – електронний блок; 4 – кільцевий поршень; 5 – маточина; 6 – опірні шайби; 7 – фрикціон; 8 – барабан муфти; 9 – аксіально-поршневий насос; 10 – відцентровий регулятор тиску; 11 – електромотор.

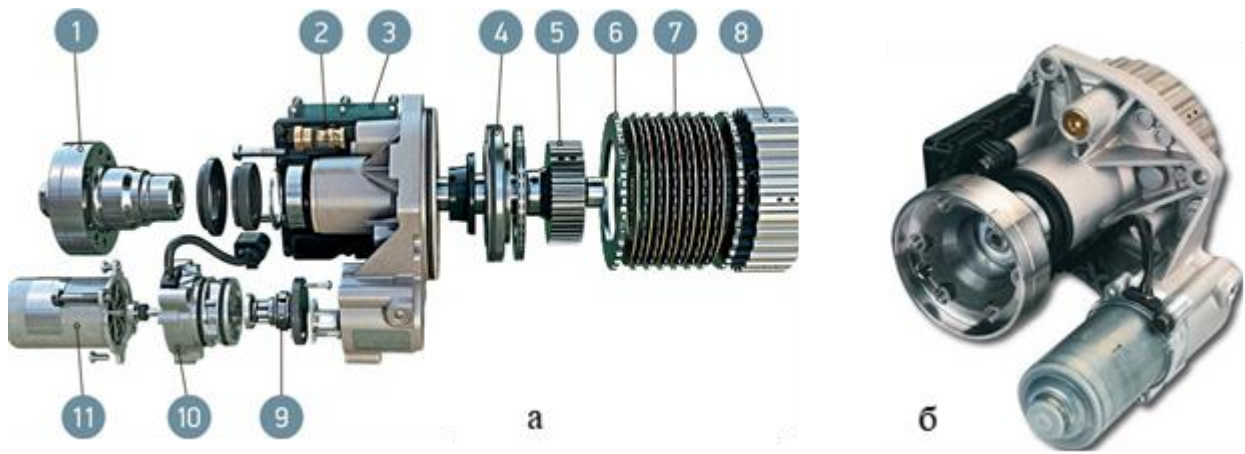


Рис. 4.14. Муфта Haldex п'ятого покоління: а – устрій; б – зовнішній вигляд

При обертанні, важки регулятора 10 під дією відцентрової сили розходяться і перекривають канали, по яких масло зливається в піддон. При цьому, тиск у системі зростає, поршень починає стискати диски фрикційного пакету.

Роздавальна коробка – агрегат трансмісії, основною функцією якого є роздача потужності від двигуна між осями. Застосовується тільки на повнопривідних автомобілях. В кінематичному ланцюзі елементів трансмісії автомобіля роздавальна коробка завжди знаходиться після коробки передач, але до головних передач. Додатково до основної функції, зазвичай, виконує функцію дільника (подвоювача) доступного числа передач. Аналогічно коробці передач розрізняють механічні, напівавтоматичні і автоматичні роздавальні коробки. В останніх двох, використовуються електромеханічні електрогідравлічні або електромагнітні приводи. В автоматичних системах керування, перерозподіл моменту між осями залежить від сили стиснення фрикційних муфт (значення сигналу керування).

В роздавальних коробках з електромеханічним приводом фрикційної муфти типу x-Drive, частина обертаючого моменту знімається з задньої осі і передається на передню за допомогою ланцюгової або шестеренчастої ланки [40]. Відмінності в конструкції обумовлені компонуванням центрального тунелю (рис. 4.15).

На рис. 4.15 позначено: 1 – привід на передню вісь; 2 – керуючий кулачок серводвигуна; 3 – корпус; 4 – проміжна шестерня; 5 – ведуча шестерня вхідного валу від коробки передач; 6 – головний важіль; 7 – корпус фрикційної муфти; 8 – привід на задню вісь; 9 – серводвигун; 10 – пакет фрикційних дисків; 11 – ведуча шестерня

серводвигуна; 12 – ведуча шестерня передньої осі; 13 – ланцюг приводу; 14 – керуючий диск серводвигуна; 15 – плечі важеля; 16 – розтискний механізм.

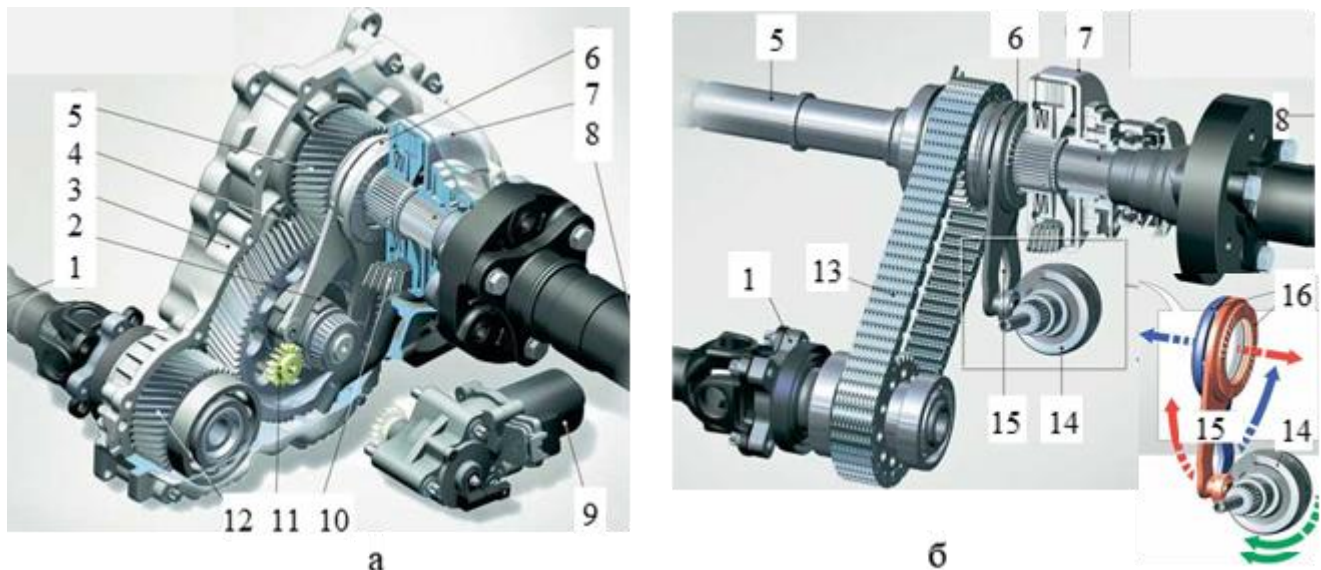


Рис. 4.15. Конструкції роздавальних коробок x-Drive:
а – з приводними шестернями; б – з ланцюговим приводом

Стисненням фрикціонів керує серводвигун 9. Головний важіль 6 перетворює обертальний рух валу електромотора в своє осьове переміщення, яке і активує фрикціон. Для легкових моделей автомобілів знайшли застосування більш компактні конструкції коробки з приводними шестернями (рис. 4.15, а). У кросоверах застосовується агрегат з ланцюговою передачею (рис. 4.15, б).

Аналогічні конструкції мають роздавальні коробки з електрогідравлічним (як у муфти Haldex) та електромагнітним (як у муфти ITM) приводом фрикційної муфти (рис. 4.16).

На рис. 4.16 позначено: 1 – вхідний вал (від АКП); 2 – фланець на задній привід; 3 – фланець на передній кардан; 4 – пакет фрикціонів; 5 – електрогідравлічний привід пакету фрикціонів, 6 – електронний блок керування роздатковою коробкою; 7 – нижній піддон, 8 – ланцюг, 9 – клапан вентиляції; 10 – понижуюча передача; 11 – муфта жорсткого підключення переднього приводу; 12 – обмотка електромагнітного приводу фрикційного пакету; 13 – датчик швидкості обертання задніх коліс; 14 – датчик швидкості обертання передніх коліс.

Роздавальні коробки розглянутих конструкцій дозволяють перерозподіляти обертаючий момент в повному діапазоні.

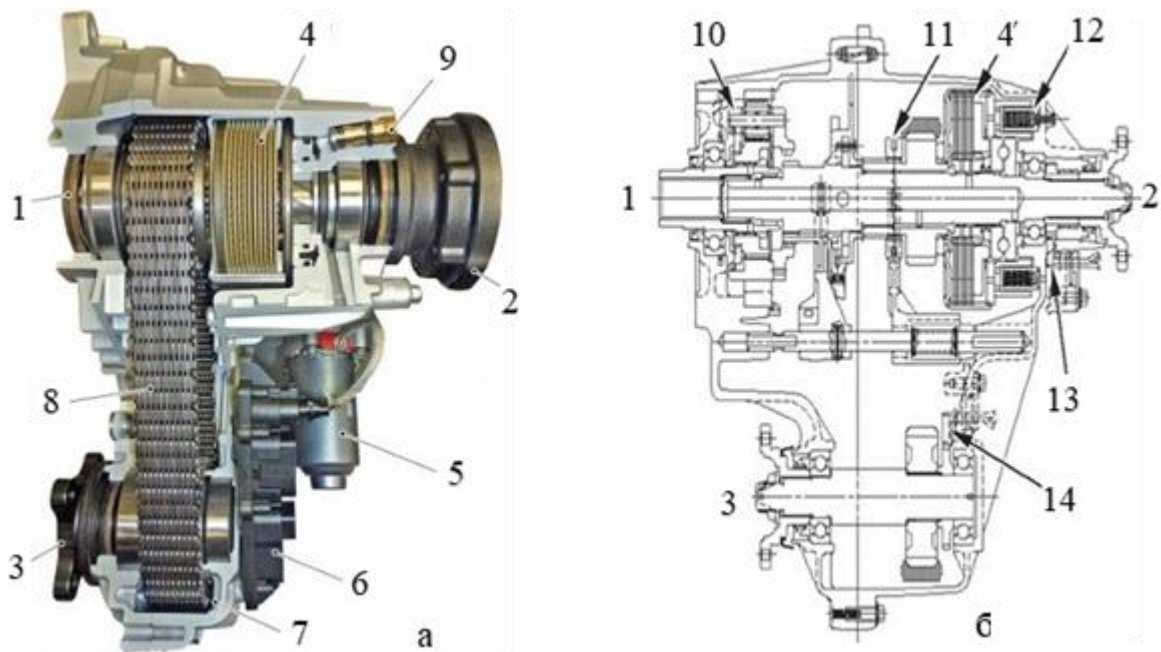


Рис. 4.16. Роздавальні коробки з керованою подачею обертаючого моменту:

а – електрогідравлічна Borg Warner; б – електромагнітна Isuzu Bighorn

Розподіл обертаючого моменту між осями здійснюється рівномірно при рушанні з місця, після чого, змінюється залежно від дорожніх умов та вимоги водія. В умовах бездоріжжя при відсутності зчеплення коліс з дорожньою поверхнею, обертаючий момент може повністю передаватися на передній або задній міст.

4.3. Системи зчеплення і коробок передач

Агрегати зчеплення і коробок передач є основними елементами трансмісії. Коробки передач дозволяють: змінювати передавальне число між обертаючими валами, узгоджуючи обертаючий момент, що передається від ДВЗ на ведучі колеса; змінювати напрямок обертання, забезпечуючи задній хід; розмикати ланцюг передачі потужності на режимі холостого ходу ДВЗ. Зчеплення – механізм, що з'єднує двигун із трансмісією та дає змогу тимчасово роз'єднувати їх під час перемикавання передач, гальмування і зупинки.

Існує кілька видів зчеплення: механічне (фрикційне), електромагнітне, гідравлічне, комбіновані варіанти. Конструкція зчеплення складається з декількох елементів, різноманітність поєднань яких визначає тип зчеплення. Системи зчеплення класифікують за загальними ознаками:

- конфігурацією: одно-поточні і двох-поточні поєднання двох одно-поточних);
- видом тертя: мокре (у маслі) і сухе (у повітрі);
- режимом вмикання: постійно і не постійно замкнуті;
- кількістю наявних ведених дисків: одно-дискові, двох-дискові і багатодискові.
- типу пружини: з діафрагмовою (у центрі) і із циліндричною (по колу) розміщенням;
- способом керування: механічні, електромеханічні, пневмоелектричні, гідроелектричні, електромагнітні.

Найчастіше зараз на автомобілях зустрічається одно-дискове зчеплення сухого типу. У механічному зчепленні використовуються сили сухого тертя. Гідравлічний тип з'єднання валу двигуна з валом коробки передач відбувається завдяки потоку рідини (рідинного тертя). Електромагнітний тип працює за рахунок магнітного поля. Конструктивною відмінністю електромеханічної системи від механічної є електромотор. Він включається в момент натискання педалі зчеплення. Електромотор 1 за допомогою лебідкового механізму підтягує трос, який діє на віджимний диск 2 через коромисло 3 (рис. 4.17, а).



Рис. 4.17. Елементи електричних зчеплень:
а – агрегат в зборі; б, в – актуатор електромоторний;
г – пневмоелектричний підсилювач

У зчепленнях з електронним керуванням знаходять застосування і актуатори безпосереднього впливу на вилку зчеплення (рис. 4.17, б, в). До складу таких мехатронних вузлів крім електродвигуна входять механічні перетворювачі руху (редуктори) з датчиками зворотного зв'язку (переміщення штока).

Зчеплення з електронним керуванням еСS (Electronic Clutch System) істотно спрощує процес керування механічною коробкою передач, дозволяє економити паливо [4, 41]. В системі керування еСS використовується інформація з датчиків різного призначення (рис. 4.18).



Рис. 4.18. Датчики системи керування зчепленням: а – псевдопедаль; б – положення важеля; в – частоти обертання; г – тиску; д – температури

Псевдопедаль зчеплення влаштована аналогічно електронній педалі акселератора. Датчик положення важеля селектора швидкісної передачі (інгібітор) представляє потенціометр, що складається з набору резистивних пластин. Датчики частоти обертання інкриментного типу входять до складу систем керування ДВЗ та коробки передач. Крім того, робота зчеплення регламентується температурою і тиском робочих рідин в силових агрегатах приводу. Для реалізації гнучких алгоритмів керування зчепленням додатково використовується інформація про стан педалей акселератора і гальма.

За допомогою системи еСS реалізується кілька функцій:

- рух в режимі частих рушень і зупинок;
- плавне перемикання передач;
- керований рух накатом;
- розширення можливостей системи «Стоп-старт».

Перша функція дозволяє автомобілю рухатися на першій передачі без використання педалі зчеплення. При відпущеній педалі газу система автоматично розмикає зчеплення. При подальшому гальмуванні двигун не глухне, тому що від'єднаний від трансмісії. Рушання з місця відбувається при відпущенні педалі гальма. Все як в автоматичній коробці передач, тільки на першій передачі.

Друга функція – синхронізація перемикання передач активізується на підставі сигналу датчика, який визначає момент переходу з

однієї передачі на іншу. При цьому, електронне зчеплення через систему керування двигуном збільшує або зменшує оберти двигуна, чим досягається плавне перемикавання передач.

Останні дві функції спрямовані на економію палива. При русі накатом виключається гальмування двигуном за рахунок регульованого вибігу. При відпущеній педалі газу система eCS вимикає зчеплення і автомобіль рухається накатом. У режимі «Стоп-старт», при знятті ноги з педалі газу на першій передачі відбувається не тільки від'єднання двигуна від трансмісії, а ще й його вимикання.

В системі електронного зчеплення ЕКМ немає необхідності в педалі зчеплення, так як включенням і вимиканням керують електронний і гідравлічний блоки. Електронний блок відповідно до отриманих даних від датчиків положення колінчастого валу, дросельної заслінки та педалі акселератору передає команди на електроклапани гідравлічного блоку, який приводить в дію механізм зчеплення. При відпусканні педалі акселератора, подається команда на відключення (послаблення) зчеплення. Застосування такого алгоритму забезпечує плавність перемикавання передач і виключення ймовірності випадкової зупинки ДВЗ. На момент перемикавання передачі (сигнал інгібітора), зчеплення автоматично вимикається до вмикання наступної передачі. При цьому, немає необхідності прибирати ногу з педалі акселератору.

Коробка переключення передач автомобіля узгоджує обертаючий момент розвинений на ведучих колесах з потужністю ДВЗ (тягового двигуна) шляхом змінення передаточного співвідношення між обертаючими валами двигуна і веденої осі. Основними класифікаційними ознаками коробок передач є спосіб передачі потужності (зубчасті, планетарні, гідромеханічні, фрикційні, комбіновані) та спосіб керування (з ручним вмиканням, автоматизовані, автоматичні). На сьогодні знайшли застосування чотири основних види коробок передач, які отримали відповідні назви: механічні, роботизовані, автоматичні, варіаторні.

Механічні коробки передач МКП (прості і планетарні) містять лише шестерні і фрикційні пристрої. Їх переваги: високий ККД, компактність, мала маса, надійність в роботі, відносна простота у виробництві і експлуатації. Основними недоліками МКП є ступінчастість зміни передавальних чисел, що знижує використання потужності двигуна та значний час на перемикавання передач важелем.

В роботизованій коробці передач РКП, мехатронний агрегат являє механічну коробку, оснащену сервоприводами керування (мехатронними вузлами). Керування РКП здійснюється в напівавтоматичному (через інгібітор) або автоматичному (за положенням педалі акселератору) режимах. При цьому, залежно від режимів руху, програма системи керування виконує послідовність операцій: знижує обертаючий момент ДВЗ; вимикає зчеплення; обирає передачу; синхронізує вхідний та вихідний вали КП; вмикає обрану передачу; вмикає зчеплення; підвищує обертаючий момент ДВЗ. Приводи керування коробкою можуть бути гідроелектричними (з електроклапанами) або електромеханічними (з соленоїдами або електромоторами). Розглянемо приклади реалізації систем керування РКП різних типів.

В електромеханічній системі АМТ 2182, один мехатронний вузол реалізує перемикання передач, а другий, при цьому, – здійснює алгоритм керування зчепленням (рис. 4.19).

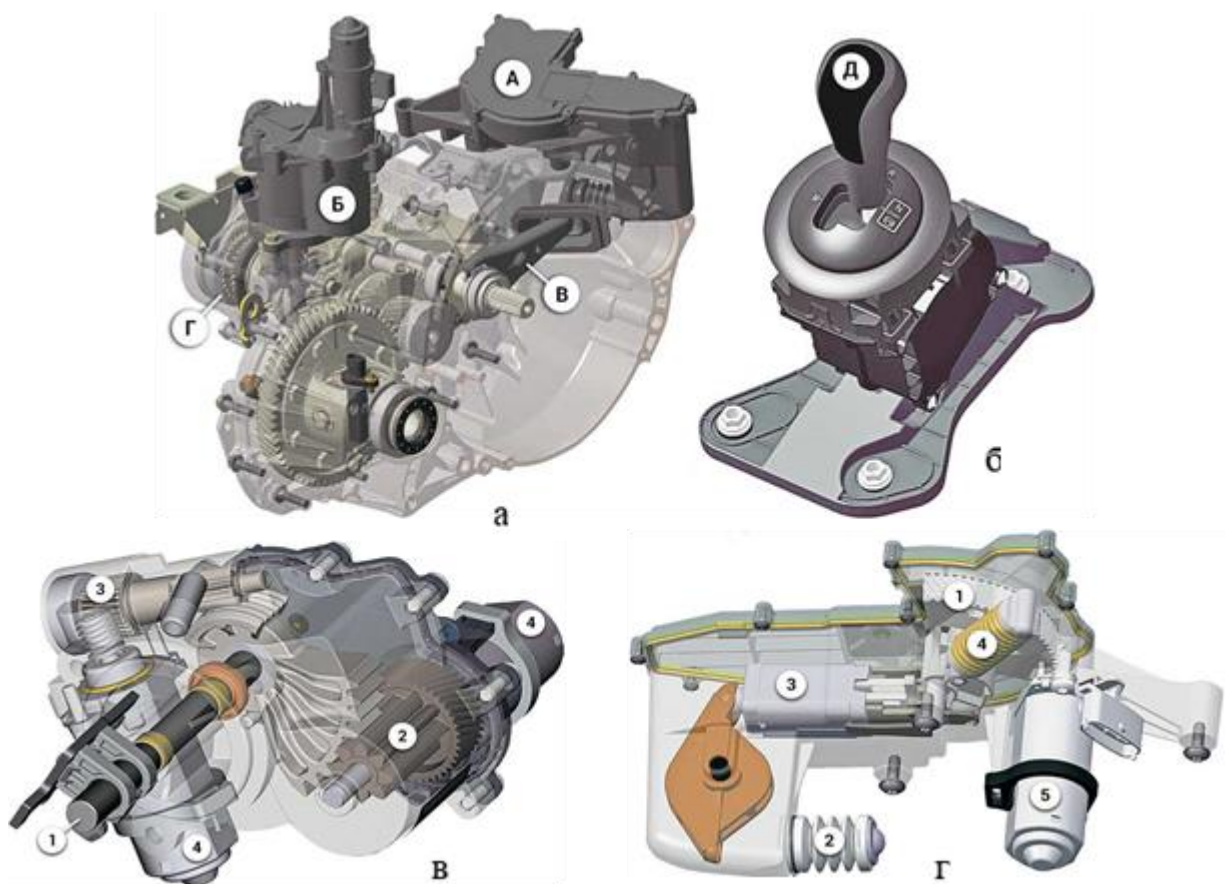


Рис. 4.19. Електромеханічний блок роботизованої коробки передач:
а – загальна компоновка; б – інгібітор; в – модуль перемикання передач;
г – модуль вмикання зчеплення

Блок керування РКП (рис. 4.19, а) складається з: модуля вмикання зчеплення «А» через вилку «В»; модуля перемикавання передач «Б»; датчика швидкості обертання первинного валу коробки передач «Г». Модуль перемикавання передач (рис. 4.19, в) включає: 1 – шток вибору передач; 2 – механізм приводу вмикання передач; 3 – механізм приводу вибору передач; 4 – координатні електромотори. Модуль керування зчепленням (рис. 4.19, г) складається з: 1 – привідної шестерні; 2 – штока вилки зчеплення; 3 – компенсатора зношення; 4 – компенсаційної пружини; 5 – електромотору [3, 4].

Система керування РКП електрогідравлічного типу (SD – Senso Drive) також складається з окремих приводів зчеплення 2 і перемикавання передач 3 та включає датчики: частоти обертання 4, положення вилок зчеплення і селектора передач 8 або 9, тиску і температури масла (рис. 4.20).

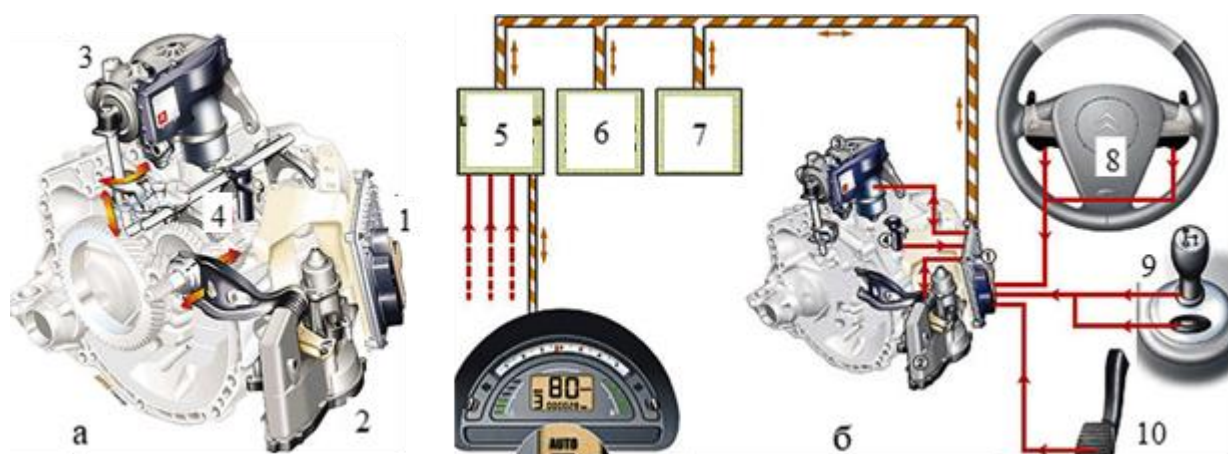


Рис. 4.20. Керування РКП типу SD:

а – компоновка мехатронної системи; б – конфігурація системи керування

Дані з датчиків передаються в ЕБК 1, який контролює актуатори приводів 2 і 3. Блок керування 1 кореспондує з модулем центрального процесора 5 та блоками керування ДВЗ 6 і ABS 7. Програма ЕБК на підставі інформації з датчиків визначає оптимальну швидкість та момент перемикавання для злагодженої роботи механізмів (без педалі зчеплення). При цьому, береться до уваги швидкість обертання двигуна, робота кондиціонера, показники спідометра. В автоматичному режимі коробка керується за певним алгоритмом, який задається ЕБК по сигналу з датчика положення педалі акселератора 10, а в напівавтоматичному – аналогічно ручному перемикавню передач за допомогою селектора 8 або 9.

Система керування РКП Easytronic має приводи для зчеплення (електрогідравлічний актуатор) і вибору передачі (електромоторний актуатор) інтегровані в суцільний мехатронний блок (рис. 4.21, а).

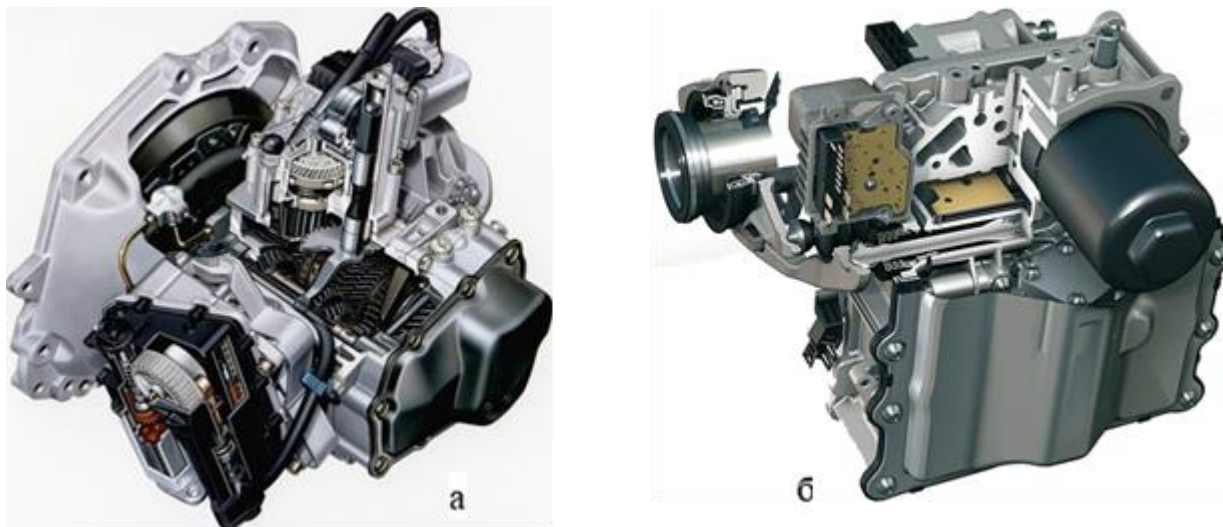


Рис. 4.21. Інтегровані мехатронні блоки керування РКП:
а – типу Easytronic; б – типу DSG

Роботизована коробка передач прямого перемикавання DSG (Direct Shift Gearbox) базується на оригінальній конструкції подвійної МКП, яка має два співвісних диска зчеплення. За координацію дій всієї системи відповідає електрогідравлічний блок (рис. 4.21, б).

В ЕБК системи надходить інформація про частоту обертання двигуна і вторинних валів КП (педаль зчеплення – відсутня). На підставі цієї інформації формуються сигнали керування на включення потрібного диска зчеплення і своєчасну зміну передач за допомогою гідроелектричних актуаторів. Важелі актуаторів з'єднуються з шестернею потрібної передачі і включають її. Саме так, як робить це водій, коли перемикає в ручному режимі передачі на МКП. Через одне зчеплення працюють непарні і задня передачі, а через інше – парні. За рахунок такого устрою здійснюється плавний перехід від однієї швидкості до іншої.

Наприклад, автомобіль рухається на першій передачі, а шестерня другої передачі вже в зачепленні, але обертається поки вхолосту. У момент перемикавання, який визначається програмою ЕБК, гідравлічні приводи одночасно відпускають перше зчеплення і замикають друге. Обертаючий момент, що йде від двигуна, передається від першої передачі на другу. Подальші перемикавання виконуються аналогічно. При

зниженні передач процес повторюється в зворотній послідовності. В результаті двигун постійно з'єднаний з трансмісією, а перемикання передач здійснюється без розриву потоку потужності. При цьому, скорочується час розгону, економиться паливо, і створюється ілюзія постійної їзди без перемикання передач.

Автоматична коробка передач АКП за способом передачі обертаючого моменту є комбінованою (гідромеханічна та планетарна). Гідромеханічна частина АКП являє гідродинамічний перетворювач моменту (гідротрансформатор) і редуктор. Наявність гідродинамічної муфти дозволяє: реалізувати автоматичну зміну обертаючого моменту залежно від зовнішніх опорів; забезпечити можливість автоматизації перемикання передач; здійснювати фільтрацію крутильних коливань і зниження пікових навантажень, що діють на агрегати трансмісії і двигуна. Поряд з підвищеною надійністю і довговічністю, гідромеханічна трансмісія має суттєвий недолік – порівняно низький ККД через низький ККД гідротрансформатора.

Автоматичні коробки передач мають ряд експлуатаційних переваг: підвищують комфортність водіння автомобіля; узгоджують перемикання передач з режимами ДВЗ і руху автомобіля; оберігають ДВЗ і ходову частину автомобіля від перевантажень; передбачають ручне і автоматичне перемикання швидкостей [3, 4, 42].

Розрізняють два типи планетарних АКП – з гідравлічним пристроєм керування (механічним насосом і гідромеханічними клапанами) і з електронним пристроєм керування гідравлічними електроклапанами. Складові частини автоматичних трансмісій обох типів практично однакові (рис. 4.22).

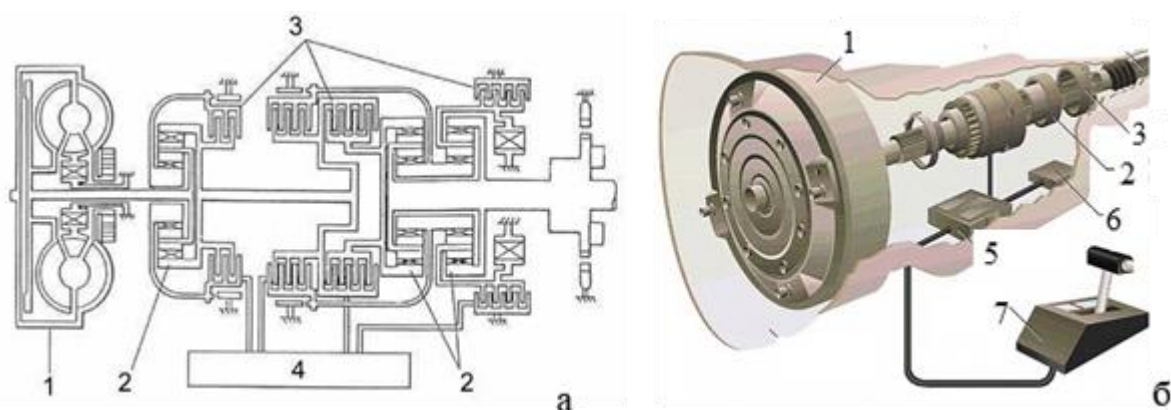


Рис. 4.22. Схеми устрою АКП:

а – гідравлічного типу; б – гідроелектричного типу

На рисунку 4.22 позначено: 1 – гідротрансформатор; 2 – планетарний ряд; 3 – гальмівна стрічка, передній фрикціон, задній фрикціон; 4 – пристрій гідравлічного керування; 5 – гідроелектричний блок; 6 – ЕБК; 7 – інгібітор.

Гідротрансформатор служить для передачі обертаючого моменту безпосередньо від двигуна до елементів АКП і складається з: насосного колеса; плити блокування гідротрансформатора; турбінного колеса; статора; обгінної муфти. Гідротрансформатор працює за принципом передачі обертання через шар рідини. Ступінь зв'язку насосного колеса з турбінним можна плавно змінювати електричним способом. Через низький ККД гідротрансформатор використовується тільки в якості рідинної муфти зчеплення.

Гідроелектричний блок АКП являє гідравлічну комунікаційну коробку з інтегрованими електромагнітними клапанами (соленоїдами) різного призначення і конструкції (рис. 4.23).



Рис. 4.23. Конструкції гідроелектричних блоків АКП

Наприклад, система керування трансмісією ETC (Electronic Traction Control) у складі гідроблоку має 6 електроклапанів різного призначення (рис. 4.24).

Крім інформації з датчиків 1 – 4, ЕБК системи ETC по CAN-шині силових агрегатів обмінюється даними з блоками керування: інгібітором; ДВЗ; протибуксувальною системою; протиугінною системою імобілайзера. У більш досконалих системах можуть використовуватися багатоступінчасті переключаючі електроклапани і клапани додаткового призначення: прослизання; охолодження; гальмування. У системах керування гідроелектричними трансмісіями комбінованої структури розглядаються дві підсистеми – керування АКП і керування роздавальною муфтою (або багатодисковою муфтою міжосьового диференціала). У таких системах додатково задіється електромагнітний клапан керування приводом задніх коліс.

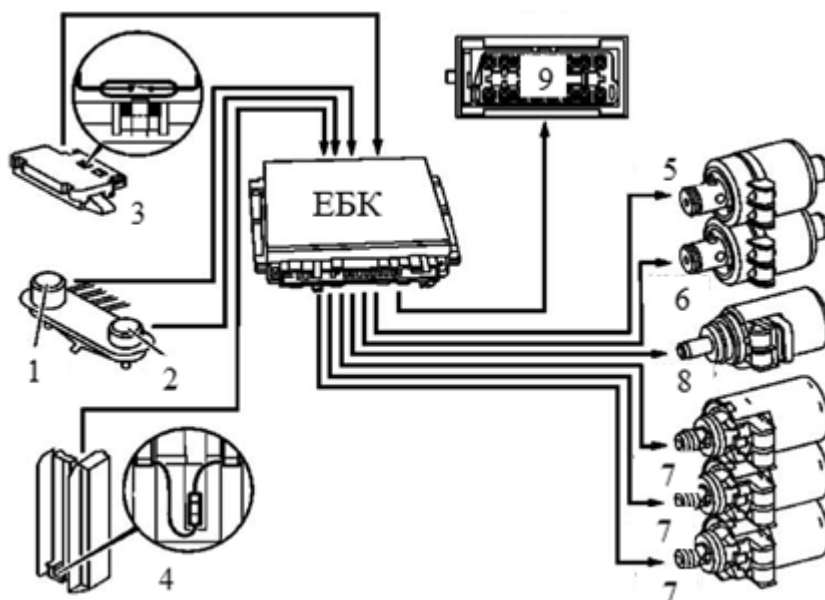


Рис. 4.24. Склад системи керування АКП типу ЕТС:

- 1, 2 – датчики обертів на вході і виході; 3 – контакт блокування стартера;
 4 – датчик температури мастила; 5 – клапан модуляції тиску; 6 – головний клапан перемикання; 7 – клапани перемикань передач;
 8 – клапан блокування гідротрансформатора; 9 – діагностичний роз'єм

За командами електронного блоку сучасних АКП реалізуються функції (опції) «Over drive» і «Kick down». Опція «Over drive» (аналог підвищених передач МКП) забезпечує ефективну роботу двигуна при їзді по трасі на тривалій дистанції і на високій швидкості. Опція «Kick down» (аналог нижніх передач МКП) допомагає вичавити з двигуна максимум при різкому прискоренні для обгону або при русі вгору по похилій поверхні. Kick down це спеціальне пристосування, завдяки якому знижується тиск масла в АКП і відбувається різке переключення передач з більш високих на більш низькі. Процес запускається при спрацьовуванні датчика кінцевого положення газу. Щоб, переключитися на знижену передачу на АКП, потрібно знизити тиск масла в системі. При різкому натисканні педалі газу, соленоїд відкриває клапан Kick down. Після відпущення педалі газу, тиск в системі збільшується за рахунок зростання обертів двигуна, в результаті чого, клапан закривається і відбувається перемикання на більш високі передачі.

Варіаторна АКП – безступінчаста трансмісія з зовнішнім керуванням, яка дозволяє автоматично змінювати передавальне число, вибираючи оптимальне, згідно навантаженню і обертам двигуна. Отримали поширення два види варіаторних коробок передач – клиноремінні і тороїдні [3, 43].

Клиноремінний варіатор складається з декількох (однієї або двох) ремінних передач, де шків утворений конічними дисками, які здатні переміщуватись уздовж осі обертання. Осьова варіація дисків дозволяє змінювати ефективні діаметри шківів (в зоні контакту ремня) і, відповідно, передавальне число. В трансмісії Multitronic замість ремня застосовують ланцюг, а Honda ставить набраний з металевих пластин ремінь, але принцип не змінюється (рис. 4.25, а).

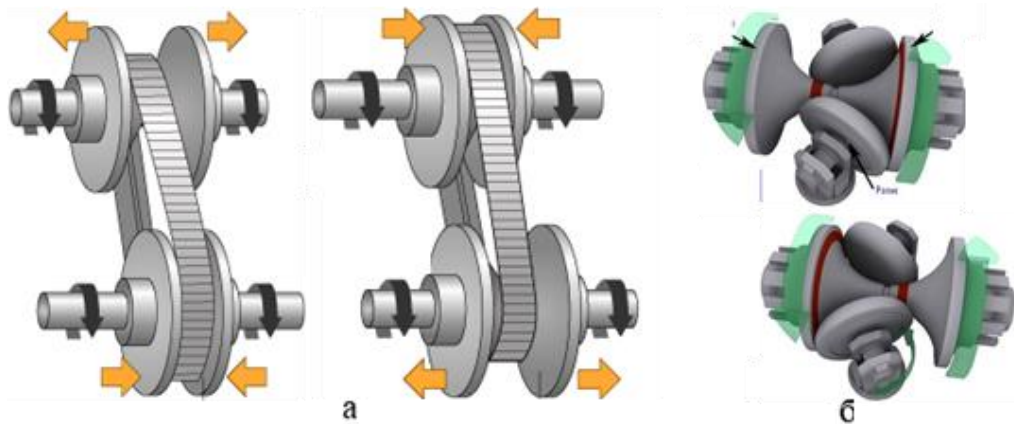


Рис. 4.25. Принцип будови варіаторної АКП:
а – клиноремінного типу; б – тороїдного типу

Для початку руху автомобіля з місця використовується звичайне зчеплення або невеликий гідротрансформатор, який після початку руху блокується. Керування дисками шківів здійснює або механічний відцентровий регулятор або гідроелектричний привід (рис. 4.26).

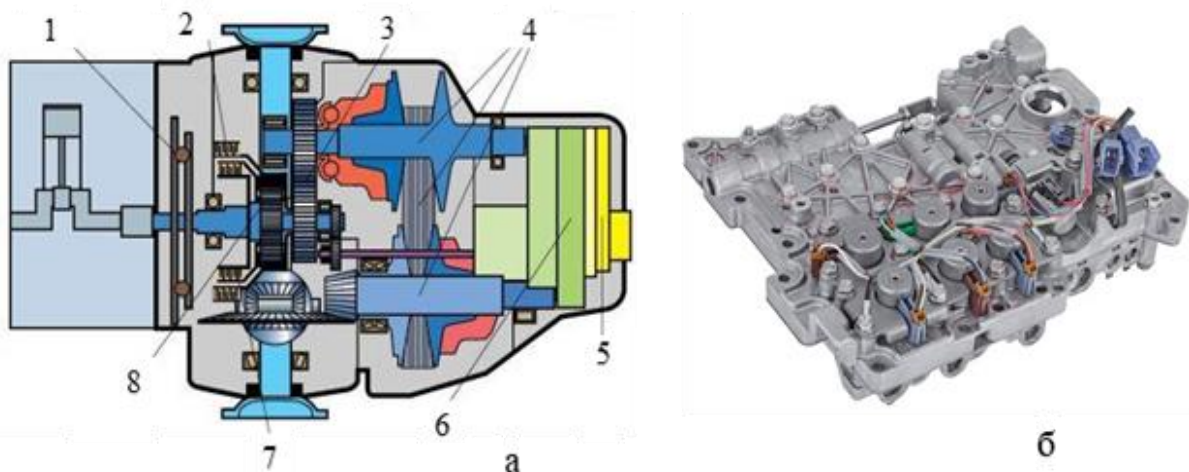


Рис. 4.26. Устрій клиноремінної варіаторної АКП:
а – компоновка вузлів; б – зовнішній вигляд гідроелектричного блоку

На рис. 4.26 позначено: 1 – маховик з демпфером крутильних коливань; 2 – фрикціон заднього ходу; 3 – проміжна передача; 4 – варіатор; 5 – ЕБК; 6 – гідроелектричний блок керування; 7 – фрикціон переднього ходу; 8 – планетарний механізм.

Привід кожного з шківів складається з двох гідроциліндрів – притискного і регулювального. Сила, з якою диски притискаються до ланцюга, контролюється датчиком обертаючого моменту. Датчик встановлений на привідному диску.

Гідроелектричний блок також здійснює керування фрикціонами переднього і заднього ходу, регулює тиск робочої рідини в системі і забезпечує охолодження фрикціонів.

Тороїдний варіатор складається з співвісних дисків і роликів, що передають момент від одного диска до іншого. Для зміни передавального числа змінюється положення роликів і їх радіуси, за якими ролики обкачують диски (рис. 4.25, б). Синхронне керування станом роликів переважно здійснюється електричним сервоприводом.

4.4. Застосування диференціалів різної будови

Диференціал в механічному розумінні, це пристрій, що передає обертання з одного джерела на два незалежні споживачі так, що кутові швидкості обертання джерела і обох споживачів можуть бути різними і їхнє співвідношення може бути непостійним, але відношення швидкості обертання джерела до суми швидкостей обох споживачів залишається постійним. На автомобілях диференціали розподіляють обертаючий момент між колесами або осями автомобіля і дозволяють веденим колесам обертатися з неоднаковою кутовою швидкістю на поворотах, нерівній дорозі і в інших випадках.

Основою будь-якого диференціала може бути тільки планетарна передача, яка в силу механіки своєї роботи єдина з усіх передач обертального руху може вирішувати завдання, що стоять перед диференціалом в трансмісії автомобіля. Диференціали класифікуються за рядом загальних ознак [2, 3, 4, 44]:

- видом редуктора (конічні, циліндричні, кулачкові, черв'ячні).
- місцем установки (міжколісні, міжосьові, між групою ведучих мостів);
- розподілом обертаючого моменту (симетричні, несиметричні);
- способом керування (неблоковані, самоблоковані, блоковані примусово);

- видом сигналу керування та керуючого впливу (не електричні, електрично керовані).

Вільний (неблокований) диференціал OD (Open Differential) являє редуктор, який розділяє обертаючий момент двигуна на дві осі, кожна з яких здатна обертатися з різною швидкістю. Обертаючий момент на диференціал подається через головну передачу, яка скомпонована в конструкції коробки передач (для переднього приводу) або ведучого моста заднього приводу. Недоліком вільного диференціала є те, що при втраті зчеплення одного з коліс, обертаючий момент на протилежно-му колесі також падає. У гіршому варіанті, у застряглого автомобіля одне колесо вільно обертається, в той час як протилежне з кращим зчепленням не може передати поверхні достатнього обертаючого моменту, щоб зрушити автомобіль з місця.

Для підвищення прохідності автомобіля в конструкцію диференціала вводять додаткові елементи, що забезпечують його блокування під час проходження важко прохідних ділянок траси. Але, при цьому, блокування диференціала на поверхні з високим зчепленням ведучих коліс ускладнює поворотність автомобіля і приводить до пошкодження трансмісії.

У *заблокованого диференціала*, колеса обертаються з рівними швидкостями і обертаючий момент перерозподіляється на колесо з більш високою тягою (зчепленням з дорогою). У незаблокованому стані диференціал поводить себе як вільний.

Щоб заблокувати диференціал треба виконати з'єднання півосей, або чашки диференціала з однією з осей. Залежно від ступеня блокування розрізняють диференціали із жорстким зчепленням LD (Locking Differential) та диференціали обмеженого ковзання LSD (Limited-slip Differential), які отримали другу назву – диференціали підвищеного тертя.

Самоблоковані диференціали за механізмом дії можна поділити на дві групи – ті, що спрацьовують від різниці обертаючих моментів і, ті які спрацьовують від різниці кутових швидкостей на ведених шестернях. В першу групу потрапляють LD диференціали з гвинтовим, черв'ячним і дисковим блокуванням. У другу, – LSD диференціали з реактивними механізмами блокування (віскомуфтою, героторним насосом, відцентровим автоматом вмикання, обгінною муфтою) та фрикційними муфтами.

Прикладом LD з черв'ячним блокуванням є *диференціал Torsen* (TORque SENsing – відчуває обертаючий момент), в якому черв'як може провертати зубчасте колесо, а в зворотному напрямку, передача блокується. При цьому, відбувається розподіл потужності між колесами однієї осі при поворотах автомобіля та буксуванні одного з коліс (диференціал блокується і обидва колеса обертаються з однаковою швидкістю).

При низьких значеннях вхідного обертаючого моменту, шестерні диференціала обертаються вільно і його дія нагадує роботу звичайного симетричного диференціала. Коли вхідний обертаючий момент збільшується, набір черв'ячних шестерень навантажується і в певний момент два вихідних вали блокуються практично миттєво (без реакції) і не впливають на процес гальмування. Ці властивості механізму зумовили його широке використання у якості міжколісних і міжосьових диференціалів автомобілів. Основним недоліком Torsen є складність його виготовлення і збірки і, як наслідок, висока вартість.

У *героторного диференціала* LSD-типу, гідравлічний насос керує зчепленням фрикційної муфти, яка блокує сателітну шестерню на корпус (рис. 4.27).

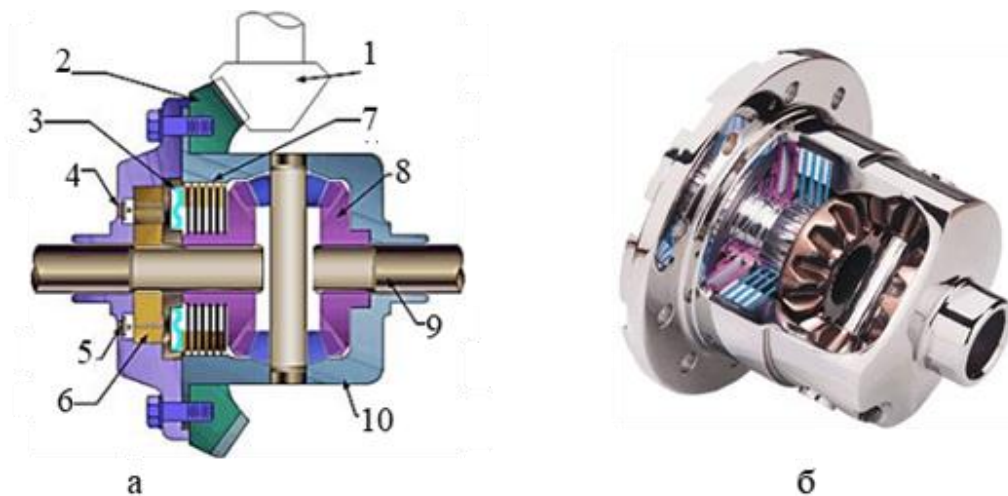


Рис. 4.27. Героторний диференціал: а – устрій; б – зовнішній вигляд

На рис. 4.27, а позначено: 1 – ведуча шестерня головної передачі; 2 – ведена шестерня головної передачі; 3 – дисковий поршень; 4 – вхідний отвір; 5 – перепускний клапан; 6 – геродиск; 7 – пакет фрикціонів; 8 – сателіт; 9 – піввісь; 10 – корпус.

У разі міжколісного диференціала, ротор насоса обертається однією піввіссю моста, а корпус – іншою. Тиск, утворюваний маслом,

залежить від різниці швидкостей обертання півосей і передається через поршень до фрикційної муфти 7. Сила тертя в муфті зростає, диференціал блокується. Переваги диференціала з героторною муфтою:

- менший час реакції на появу різниці швидкості обертання в порівнянні з віскомуфтою;
- можливість 100 % блокування диференціала, в порівнянні зі звичним диференціалом підвищеного тертя і віскомуфтою;
- використовує для роботи масло пристрою в який він вбудований (роздавальна коробка, міст) на відміну від віскомуфти, для якої потрібні силіконова рідина та високоякісні ущільнення.
- при установці, не треба попередньо навантажувати фрикційну муфту, як це робиться в диференціалі підвищеного тертя.

Система центрального диференціала з двома насосами DPS (Dual Pump System), що застосовується в системах повного приводу Honda, автоматично підключає другу вісь автомобіля, коли не вистачає однієї. У першому поколінні DPS гідравлічна муфта являє собою звичайне багатодискове зчеплення з гідравлічним приводом, яке при вмиканні перекидає назадні колеса до 44 % потужності від двигуна. При відсутності відносного проковзування між осями, тиск насосів врівноважено, муфта зчеплення розімкнута, автомобіль рухається на передньому приводі. У другому поколінні DPS, фрикційна муфта 1 з гідравлічним приводом 2 доповнена кульковим притискним механізмом 3 (рис. 4.28).

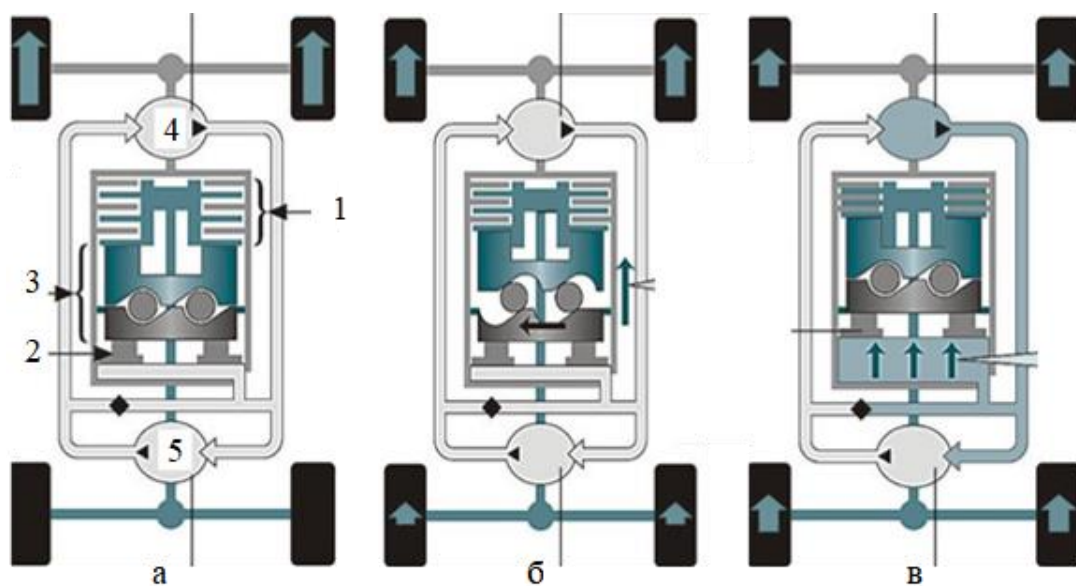


Рис. 4.28. Функціонування героторного диференціала DPS:

а – без прослизання осей; б – при частковому прослизанні; в – при значному прослизанні

При рівному обертанні осей, тиск насосів 4, 5 врівноважено, муфта зчеплення розімкнута (рис. 4.28, а). Якщо, відбувається прослизання осей всього на 9° , спрацьовує кульковий притискач, фрикційна муфта передає на задню вісь до 35 % моменту (рис. 4.28, б). При серйозному прослизанні, тривалістю більш за 0,1 секунди, вступає в дію гідравліка, забезпечуючи повне блокування муфти (рис. 4.28, в). При цьому, муфта розподіляє обертаючий момент між осями порівну.

Диференціали LD з примусовим блокуванням можуть мати механічний (безпосередній), пневматичний або гідравлічний привід. Так, наприклад диференціал ARB (Air Locker) з пневматичним приводом відноситься до групи диференціалів, які блокуються примусово з кабіни водія. В початковому стані являє звичайний класичний диференціал. При блокуванні такого диференціала півосі замикаються між собою жорстко за допомогою зачіпної муфти. Привід диференціала складається з кільцевого пневмоциліндра, важеля, вилки і шліцьової муфти на півосі (рис. 4.29, а).



Рис. 4.29. Диференціал ARB з керованим блокуванням

При подачі повітря в виконавчий механізм, муфта під дією кільцевого поршня з'єднується шліцями з корпусом диференціала і таким чином створює перешкоджання вільному обертанню півосі. Подача тиску в робочу порожнину виконавчого механізму здійснюється за допомогою кнопки-клапану подачі повітря (рис. 4.29, б).

Блокування диференціала ARB має ряд переваг:

- розподіл обертаючого моменту на всі чотири колеса незалежно від дорожнього покриття або погодних умов;
- легке і зручне керування;
- висока надійність і міцність;
- простота пристрою з мінімальною кількістю рухомих частин і, як наслідок, максимальна надійність і ремонтпридатність;
- використовуються передні і задні варіанти блокування;
- можливість використання при їзді тільки на передньому чи задньому приводі;
- простота установки і обслуговування;
- встановлюється компресор, який може використовуватися для підкачки шин.

Якщо, в диференціалі Air Locker замість механічної кнопки-клапану подачі повітря встановити електроклапан (рис. 4.29, в) з кнопкою підключення електроживлення (рис. 4.29, г), то утворюється пневмoeлектрична система дистанційного керування диференціалом ARB в напівавтоматичному режимі. А якщо, замість кнопки додати ЕБК з відповідним ПЗ і датчиками індикаторних параметрів, можна реалізувати систему керування, яка функціонує в автоматичному режимі. При цьому, агрегат ARB залишається механічним перетворювачем з пневматичним керуванням (структура диференціала не містить електричних компонентів).

Далі розглянемо *диференціали з електричним керуванням*, які можна вважати агрегатами (об'єктами керування) мехатронних систем. Такі диференціали реалізуються за допомогою електромагнітного (соленоїдної), гідроелектричного (електроклапани) або електрогідравлічного (електронасоси) приводів. За ступенем блокування також розрізняють електрично керовані диференціали жорсткого зчеплення ELD і обмеженого тертя ELSD.

На відміну від пневматики і гідравліки, електромагнітний привід блокування впливає безпосередньо на сателіти. Наприклад, в *диференціалі Eaton ELocker* ELD-типу, котушка електромагніту розташована безпосередньо в корпусі диференціала [45] (рис. 4.30).

При подачі напруги, електромагнітне зусилля переміщує замковий пристрій, який жорстко з'єднує сателітну шестерню з корпусом, забезпечуючи зв'язок між півосьовими шестернями (ведучі колеса починають обертатися з однаковою швидкістю).



Рис. 4.30. Диференціал Eaton Elocker з електромагнітним блокуванням:
а – устрій; б – зовнішній вигляд

Особлива конструкція блокатора допускає активацію механізму не тільки в статичному положенні, але і при русі автомобіля.

В диференціалах *ELSD-типу* використовуються фрикційні муфти з електромагнітним, гідроелектричним або електрогідравлічним керуванням. В електромагнітному варіанті, соленоїд може бути жорстко закріпленим на корпусі диференціала (катушка, що обертається) або встановлений через підшипник (нерухома катушка). У першому випадку, напруга на обмотку подається через ковзаючі контакти, у другому – по стаціонарно підключеним проводам. Найважливішими перевагами таких систем є:

- зручність напівавтоматичного і автоматичного керування;
- швидкість і точність вмикання і вимикання;
- можливість регулювання ступеню блокування;
- відносна простота механічної частини конструкції;
- простота інтеграції в готову систему.

Сила, яка потрібна для блокування диференціала такого типу, не значна, тому що тиск здійснюється послідовно на всі поверхні тертя.

Прикладом диференціалу *ELSD-типу* з електромагнітним керуванням є агрегат ECTED Locker. Абревіатура ECTED (Electronically Controlled Traction Enhancing Differentials) означає – диференціал підвищеного тертя з електронним керуванням (рис. 4.31).

У вимкненому стані система являє звичайний симетричний диференціал. Пакет фрикційних дисків 7, розташований на півосьовій шестірні 6 змінює свій стан. Катушка електромагніту 8 встановлена на корпусі диференціала 10 через підшипник 9.

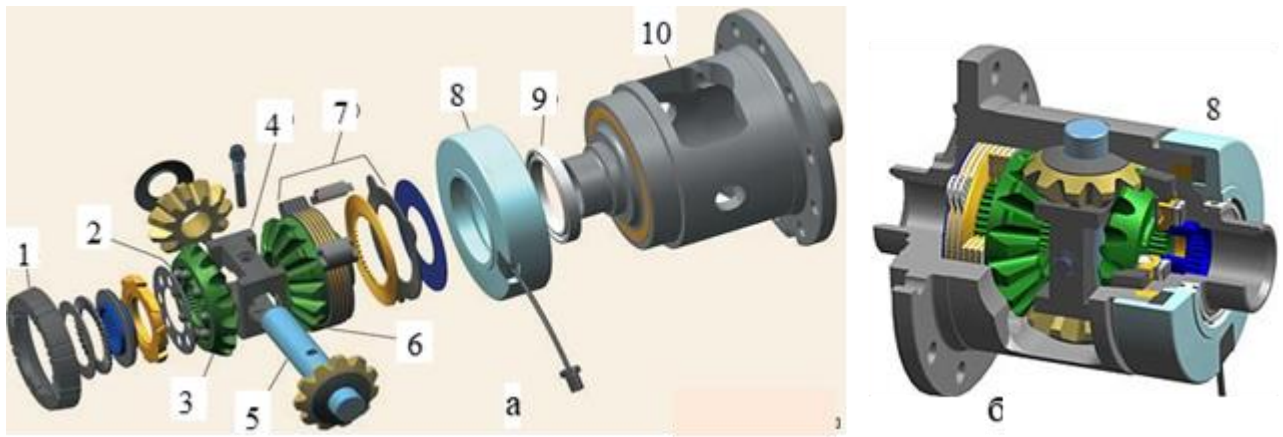


Рис. 4.31. Диференціал ESTED Locker з електромагнітним керуванням ступеню блокування: а – устрій; б – зовнішній вигляд

При підключенні котушки 8, статорний індуктор створює магнітне поле, яке спричиняє вдавлювання якірного кільця 1 всередину корпусу диференціала 10.

Зусилля натискання через кульки натискного підшипника 2 передається на шестерню півосі 3. Осьове переміщення шестерні півосі передає зусилля на центральний блок 4, який має подовжений отвір для осі сателітів 5. Центральний блок 4 передає зусилля на протилежну шестерню півосі 6, яка стискає пакет фрикційних дисків 7. Наслідком збільшення тертя між фрикційними дисками є часткове або повне блокування диференціала. Блокування можна вмикати на ходу при будь-якій швидкості руху.

Більш ефективними з позицій витрат електроенергії є системи електромагнітного блокування диференціала з керуючим фрикціоном, які використовуються у *передньому міжколісному AFD* (Active Front Differential) в трансмісіях автомобілів фірми Mitsubishi [46] (рис. 4.32).

На рис. 4.32 позначено: 1 – напрямок руху; 2 – до правого переднього колеса; 3 – до лівого переднього колеса; 4 – до задньої осі; 5 – передній диференціал; 6 – керуючий фрикціон; 7 – фрикціони блокування переднього диференціала; 8 – соленоїд приводу фрикціону; 9 – кульковий притискний механізм; 10 – ведена шестерня головної передачі. Щоб стиснути фрикціони, блок керування повним приводом подає струм на обмотку електромагніту і при наявності різниці в швидкостях обертання передніх коліс два диска кулькового натискного механізму обертаються відносно один до одного, створюючи осьове зусилля стискання на фрикціони.

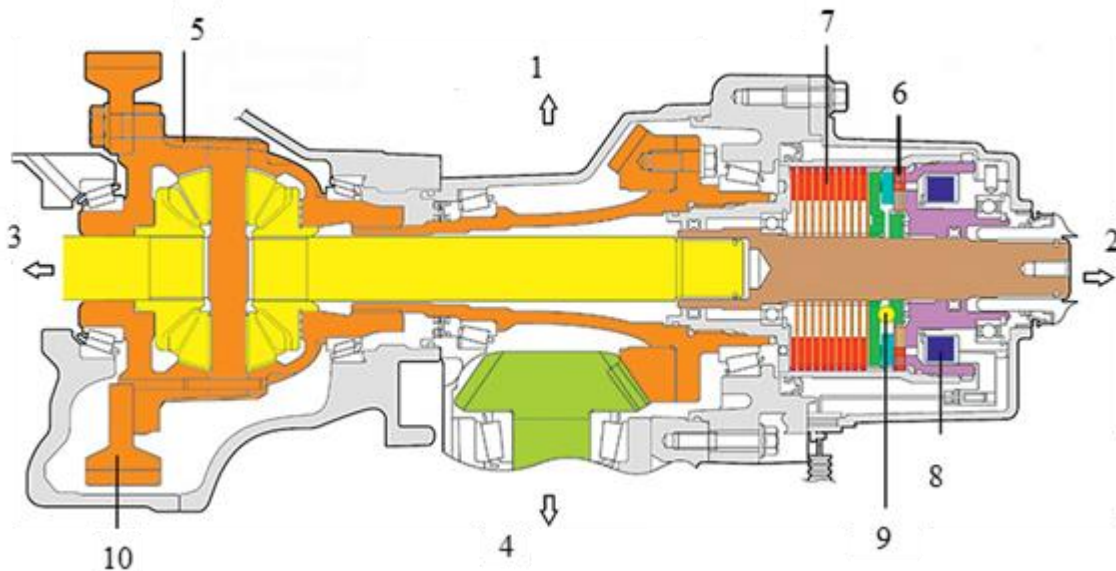


Рис. 4.32. Устрій переднього активного диференціала AFD

Ступінь блокування диференціала постійно змінюється електронікою, але жорсткий зв'язок між півосями неможливий.

Так саме муфта ELSD-типу, яка встановлена між карданним валом і вхідним валом головної передачі заднього моста замість віскомуфти або муфти Haldex, використовується у якості міжосьового активного диференціала [47] (рис. 4.33).

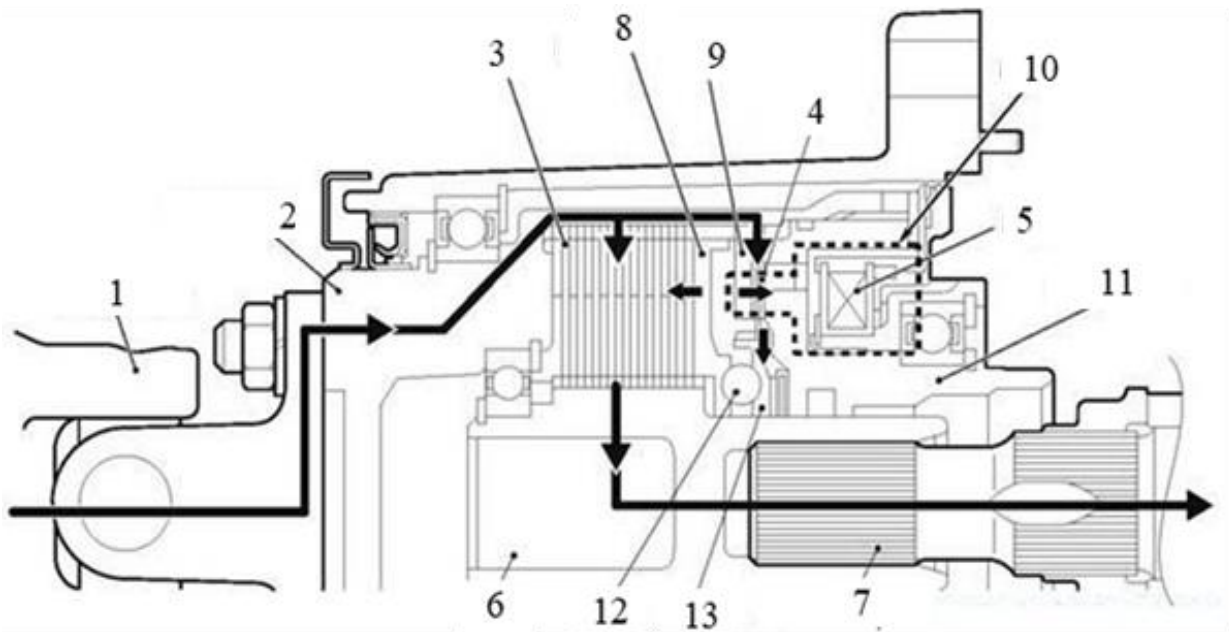


Рис. 4.33. Схема передачі обертаючого моменту через активну міжосьову муфту під час:

а – знеструмленого соленоїда; – активізації електромагнітного приводу

На рис. 4.33 позначено: 1 – карданний вал; 2 – передня частина корпусу; 3 – головний фрикціон; 4 – керуючий фрикціон; 5 – соленоїд; 6 – вал заднього диференціала; 7 – шестерня заднього диференціала; 8 – перший диск кулачкового механізму; 9 – арматура; 10 – силова лінія магнітного поля; 11 – задня частина корпусу; 12 – кулька притискного механізму; 13 – другий диск кулачкового механізму.

В диференціалі *ELSD-типу* з гідроелектричним керуванням механізм блокування складається з масляного насоса 1, гідроциліндра 2 і пакету фрикційних дисків 3, встановлених між чашкою класичного диференціала і шестернею півосі. Корпус гідроциліндра кріпиться до чашки диференціала, а поршень до півосі (рис. 4.34).

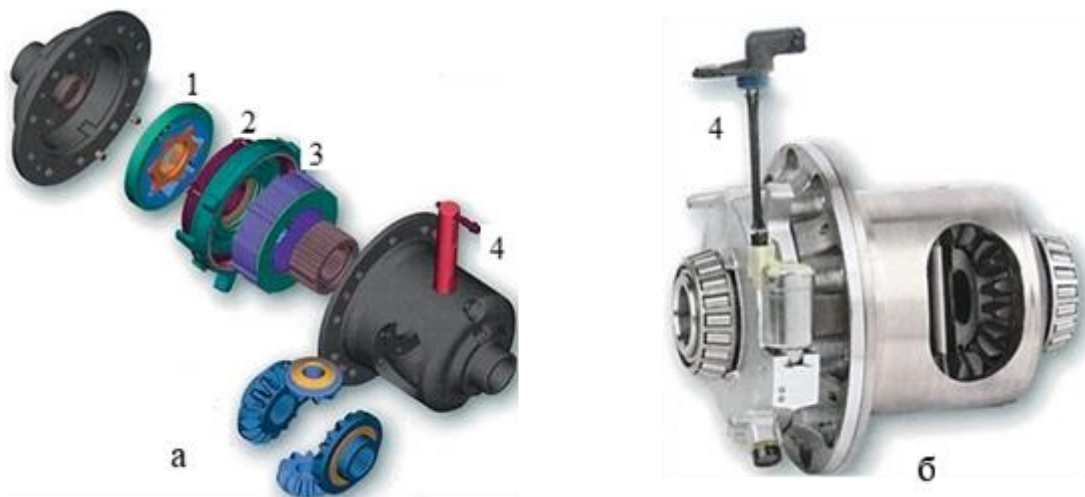


Рис. 4.34. Гідроелектричний диференціал EGerodisk з регульованим ступенем блокування: а – устрій; б – зовнішній вигляд

При активації системи гідравлічне зусилля стискає фрикційний пакет, блокуючи шестерню півосі з чашкою диференціала. За рахунок отриманого моменту тертя, диференціал плавно перерозподіляє обертаючий момент на колесо, яке відстає. Залежно від дорожніх умов ступінь блокування можна змінювати в широких межах за рахунок додаткового електромагнітного керування (котушка з виводами 4) стисканням фрикційного пакету. Так, високий коефіцієнт блокування, характерний при старті з місця, може знижуватися в міру збільшення швидкості автомобіля.

Як приклад диференціала *ELSD-типу* з електрогідравлічним керуванням можна розглядати агрегат модифікованої системи повного приводу Honda. На відзнаку від попередньої розробки DPS, показаної

на рис. 4.28, до структури міжосьового диференціала додано електричні компоненти. Замість двох насосів з механічним приводом використовується один з електричним приводом, який створює в гідравлічній системі тиск, що діє на пакет фрикціонів заданого значення. Для скидання керуючого тиску, застосовано електроклапан перепуску масла з порожнини гідроциліндра в масляний бачок. Для контролю робочих процесів, в конструкції диференціала встановлені датчики тиску і температури масла. Такі електричні доповнення агрегату дозволяють блокувати муфту навіть при відсутності обертання карданного валу (рушання відразу на всіх 4 колесах) і дистанційно керувати повним приводом в напівавтоматичному та автоматичному режимах.

Диференціали з векторизацією обертаючого моменту TVD (Torque-Vectoring Differential) – це активні задні диференціали з додатковими редукторами, які дозволяють збільшувати тягу на зовнішньому колесі в крутому повороті, тим самим довертаючи автомобіль і збільшуючи швидкість проходження повороту.

Система керування TVD підключає через фрикційну муфту планетарний редуктор, який підвищує або знижує швидкість обертання обраної півосі. Залежно від виробника і типу механізму керування фрикційними пакетами, диференціали TVD отримали різні назви: TVS (Torque-Vectoring System); VD (Vector Drive); DPC (Dynamic Performance Control); AYC (Active Yaw Control) [3, 46]. Керуюча активним диференціалом електроніка збирає інформацію з датчиків швидкості автомобіля, швидкості кожного з коліс, увімкненої передачі, кута повороту керма, поперечних прискорень.

Пояснимо роботу диференціалів TVD на прикладі *активного заднього диференціалу AYC* з гідроелектричним приводом фрикційних пакетів, який використовується на автомобілях Mitsubishi [47]. У привід правого колеса вбудовані дві зубчасті передачі 3 і 4, які підвищують та понижують частоту обертання. Підключення цих передач здійснюється за допомогою фрикційних пакетів 1, 2 таким чином, що зовнішнє по відношенню до повороту колесо обертається з більшою швидкістю (рис. 4.35).

При русі по прямій, обидва зчеплення 1, 2 відключені і передача моменту на півосі рівномірна, диференціал функціонує як вільний (рис. 4.35, б). У лівому повороті задіється праве зчеплення 2.

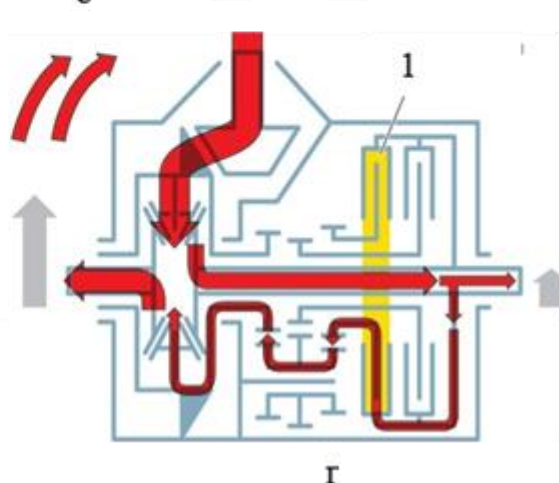
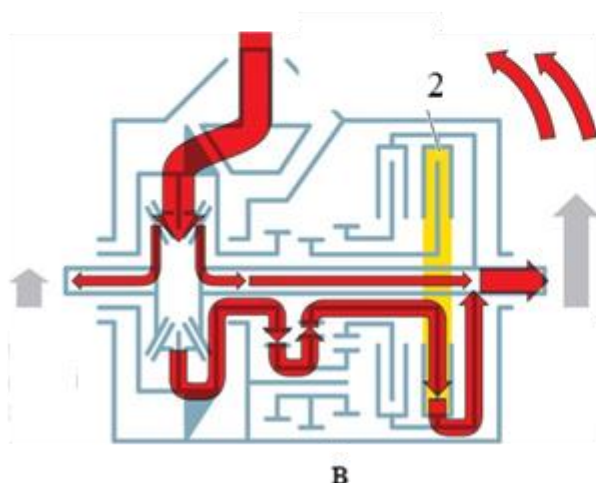
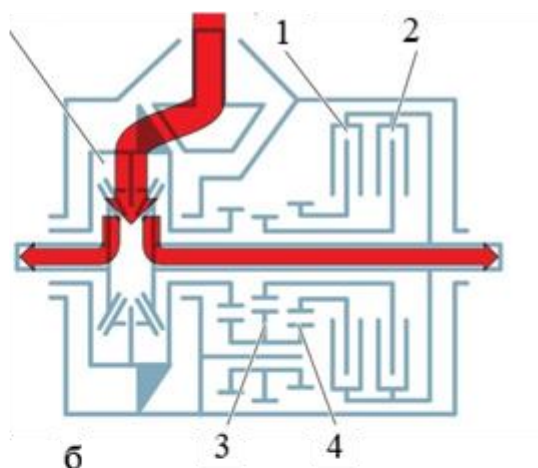
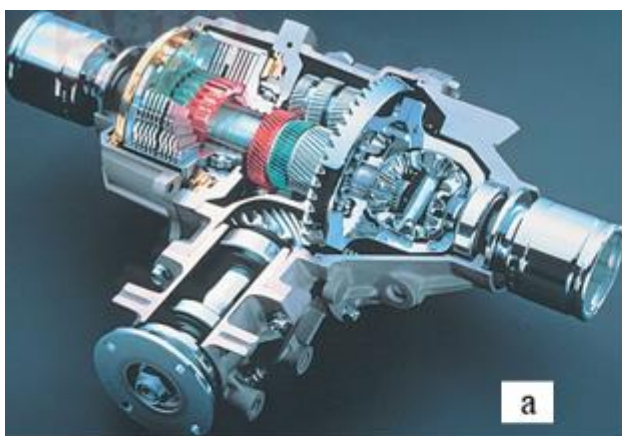


Рис. 4.35. Устрій і функціонування заднього диференціала АУС:
а – конструкція; б – передача обертаючого моменту при русі по прямій;
в – у лівому повороті; г – у правому повороті

При цьому, підвищуюча передача, через диференціал підключається до правої півосі, примусово розкручуючи праве зовнішнє колесо (рис. 4.35, в). Аналогічний процес відбувається в правому повороті (рис. 4.35, г). Активність диференціала проявляється у тому, що один із сателітів відкритого диференціала може і підгальмовуватися і примусово прискорюватися, змушуючи пригальмовувати інший сателіт пов'язаний з іншим колесом. Таким чином відбувається дозований розподіл обертаючого моменту між задніми колесами з корекцією швидкості їх обертання.

Диференціал другого покоління *Super AYC* має вигіднішу схему замикавання фрикціонів *shaft-to-shaft* (піввісь-піввісь) (рис. 4.36, а).

Гідропривід фрикціонів, виконаний за схемою керування *Haldex* включає: реверсивний електромотор приводу масляного насосу; електроклапани подачі тиску на гідроциліндри фрикційних муфт кожної півосі; датчики тиску для контролю спрацьовування приводу.

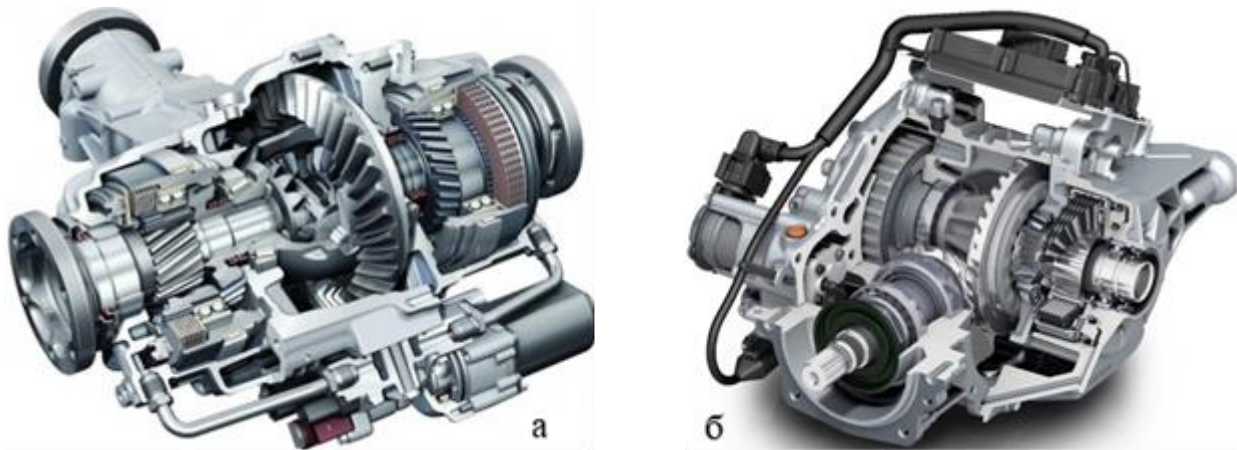


Рис. 4.36. TVD система в задньому диференціалі:

а – Super AYC з електрогідравлічним приводом;

б – DPC з електромеханічним приводом

Аналогічним чином функціонує диференціал з електромеханічним приводом фрикційних муфт DPC (Dynamic Performance Control), запропонований фірмою BMW (рис. 4.36, б). Керування фрикціями в такому TVD здійснюється двома електродвигунами з редукторами за схемою керування типу x-Drive.

Недоліками системи активного заднього диференціала є його громіздкість, підвищена складність і ціна, додаткові витрати палива на компенсацію втрат в механізмах.

4.5. Устрій і функціонування систем повного приводу AWD

Синтезування керованих пристроїв зчеплення, передачі і розподілу обертаючого моменту, дозволило розробникам отримати цілий ряд мехатронних систем повного приводу, які отримали оригінальні назви. Розглянемо структури декількох систем з автоматичним підключенням повного приводу AWD, що відрізняються за схемою побудови (конфігурації): TOD (SSang Yong) або ADD (Toyota), DCCD (Subaru), SH-AWD (Honda), AWC (Mitsubishi), S-AWC (Mitsubishi).

Привід TOD (SSang Yong) та ADD (Automatic Differential Disconnect) представляє комбінацію систем TOD з електромагнітною фрикційною муфтою 1 і ADD з пневматичними муфтами зачеплення 2 під загальним електронним напівавтоматичним або автоматичним керуванням (рис. 4.37).

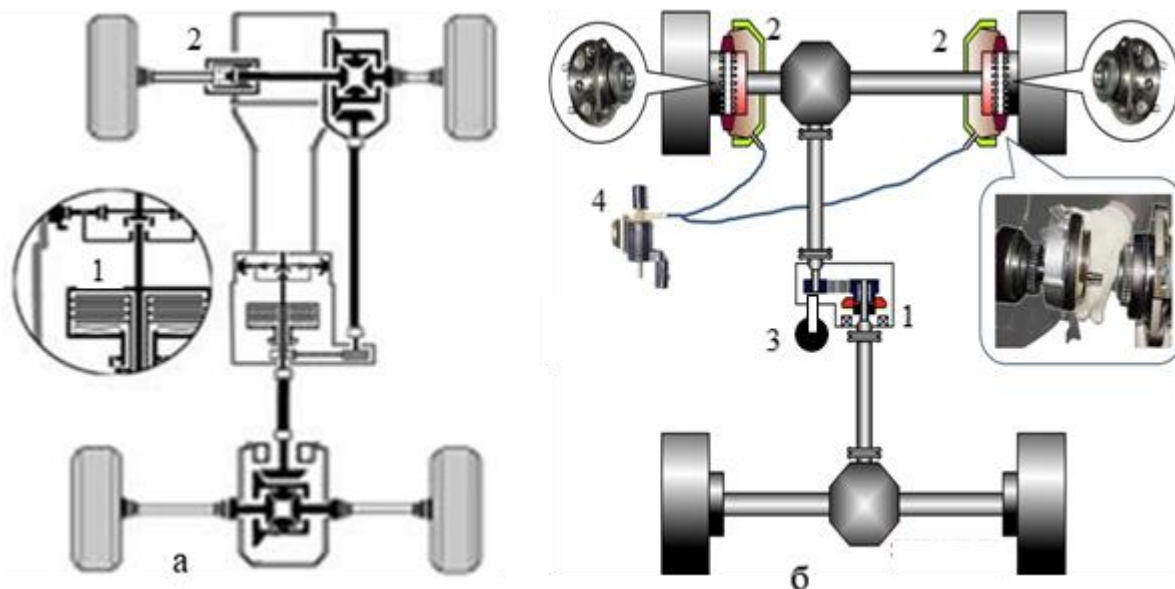


Рис. 4.37. Схема компоновки комбінованої системи приводу:
а – Toyota ADD; б – Ssang Yong TOD

Активна роздавальна коробка розподіляє обертаючий момент між передніми і задніми колесами без міжосьового диференціала за допомогою TOD-муфти 1. Коробка має знижувальну передачу у вигляді планетарного редуктора, при включенні якої за допомогою електромоторного приводу 3, жорстко підключається передній міст (на пряму або через понижуючу передачу). При повному відключенні 4WD, (спрацьовування електроклапана 4) пневмопривід зчіпної муфти ADD 2 роз'єднує одну або обидві передніх півосі. Таким чином, початковий стан системи (без втручання водія і при відсутності сигналів від датчиків) забезпечує задній привід автомобіля при розімкнутих ADD-муфтах. Повний привід активується включенням TOD-муфти і ADD-приводів, а при підвищеній прохідності, ще і електромотор 3 підключає знижувальну передачу. Головні переваги системи:

- відсутність ступичних муфт (надійність);
- можливість підключення переднього приводу у русі;
- постійне обертання ведучих шестерень півосей в передньому диференціалі, що забезпечує постійне змащування останнього.

В системі повного приводу Subaru с багаторежимним міжосьовим диференціалом DCCD (Driver Controlled Center Differential) застосовано подвійну муфту зчеплення [49]. Перша механічна частина диференціала являє самоблокувану фрикційну муфту обмеженого тертя з кулачковим притискним диском (блокування від 0 до 30 %), друга – електромагнітну фрикційну муфту з кульковим притискним диском,

яка керується ЕБК (блокування від 30 до 100 %). Устрій комбінованого диференціала показано на рис. 4.38.

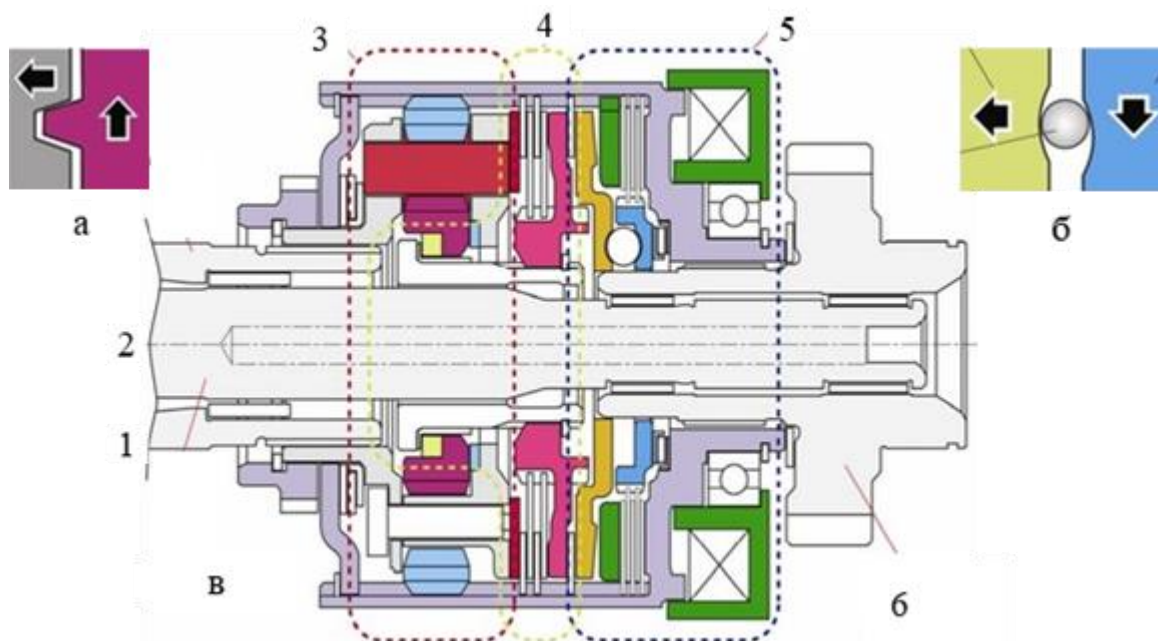


Рис. 4.38. Устрій міжосьового диференціала системи DCCD:

а – притискний механізм LSD муфти; б – притискний механізм ELSD муфти;
в – схема компоновки елементів

На рис. 4.38 позначено позиції: 1 – ведений вал; 2 – вал приводу передніх коліс; 3 – механічний диференціал; 4 – механічна самоблокована LSD муфта; 5 – керована ELSD муфта; 6 – ведуча шестерня приводу задніх коліс.

Електроніка слідує за умовами руху автомобіля і забезпечує розподіл обертаючого моменту між осями за допомогою керованої муфти, а механічна частина диференціала, швидко реагує на зовнішні динамічні впливи. Обидві муфти об'єднані планетарною передачею. При цьому, водій може змістити розподіл моменту в сторону будь-якої осі за допомогою електронної системи керування.

Механічна самоблокована муфта забезпечує блокування до того, як в роботу вступить ELSD муфта. При виникненні різниці частоти обертання валів приводу передніх і задніх коліс, кулачки муфти починають відсувати вліво вал диференціала, включаючи, таким чином, головну муфту.

Зміна ступеню блокування міжосьового диференціала, у свою чергу, змінює співвідношення розподілу обертаючого моменту між

передньою і задньою осями автомобіля. При заблокованому диференціалі обертаючий момент розподіляється порівну, а при розблокованому, співвідношення становить 41:59. Керування зчепленням електромагнітної муфти здійснюється в автоматичному або напівавтоматичному режимах. В автоматичному режимі ЕБК обчислює оптимальний рівень блокування для поточних дорожніх умов і перерозподіляє обертаючий момент таким чином, щоб забезпечити оптимальний баланс показників зчеплення і маневреності автомобіля на будь-яких видах дорожнього покриття.

Диференціал системи DCCD розташований на виході коробки передач. До складу системи керування DCCD входять оригінальні компоненти (ЕБК, перемикач режимів, індикатори та реле включення, датчик температури масла в задньому редукторі) і використовується інформація по CAN-шині від датчиків суміжних систем керування (модулів): двигуном; коробкою передач; контролем динамічної стійкості; підсилювачем керма; системою Start-Stop.

Функціонування системи DCCD підпорядковується певному алгоритму при розгоні і русі автомобіля по прямій та при маневруванні. У першому випадку, обертаючий момент передається на задню вісь таким чином, щоб досягти максимального прискорення. При входженні автомобіля в крутий поворот, система знижує обертаючий момент, що передається на задні колеса, щоб уникнути жорсткої характеристики кута повороту. Якщо, при цьому, система динамічної стійкості вказує, що спрацювала система ABS, то алгоритм контролює момент, який передається на задні колеса, мінімізуючи вплив ABS.

У разі, якщо температура масла в задньому диференціалі перевищує допустиме значення чи спостерігається значна різниця в зміні швидкості обертання передніх і задніх коліс, спрацьовує захисний алгоритм відключення заднього приводу.

Композиція *повного приводу SH-AWD* (Super Handling All-Wheel Drive System) виробництва Honda оснащена електромагнітними фрикційними ELSD муфтами, розташованими на кожній півосі задніх коліс [50]. За допомогою цих муфт, момент розподіляється між осями (30 %...70 %) і півосями задніх коліс (0...100 %) від загального моменту, що подається на задню вісь. Це дозволяє позбутися від недостатньої поворотності. Обидва зчеплення, керовані муфтами, здатними працювати незалежно один від одної, під загальним керуванням ком-

п'ютера. Модулі зчеплення доповнені власними планетарними передачами утворюють симетричний активний диференціал. Ефективність впливу муфти, а відповідно і передаточного числа редуктора визначається, середнім значенням струму через її котушку (ШІМ-керування). При чому, чим більше виявляється переданий тиск, тим з меншою швидкістю обертаються сонячні шестерні в планетарній передачі, яка і здійснює подачу моменту на відповідне заднє колесо.

Привід системи здійснюється від переднього моста в блоці з коробкою передач. Таким чином, вузол трансмісії містить три комплекти планетарних зубчастих передач з муфтами. Обертаючий момент передається через перший комплект (пристрій прискорення А) і потім на гепоїдну зубчасту передачу, яка обертає вихідні вали під кутом 90° через електромагнітні зчеплення Б задніх коліс (рис. 4.39).

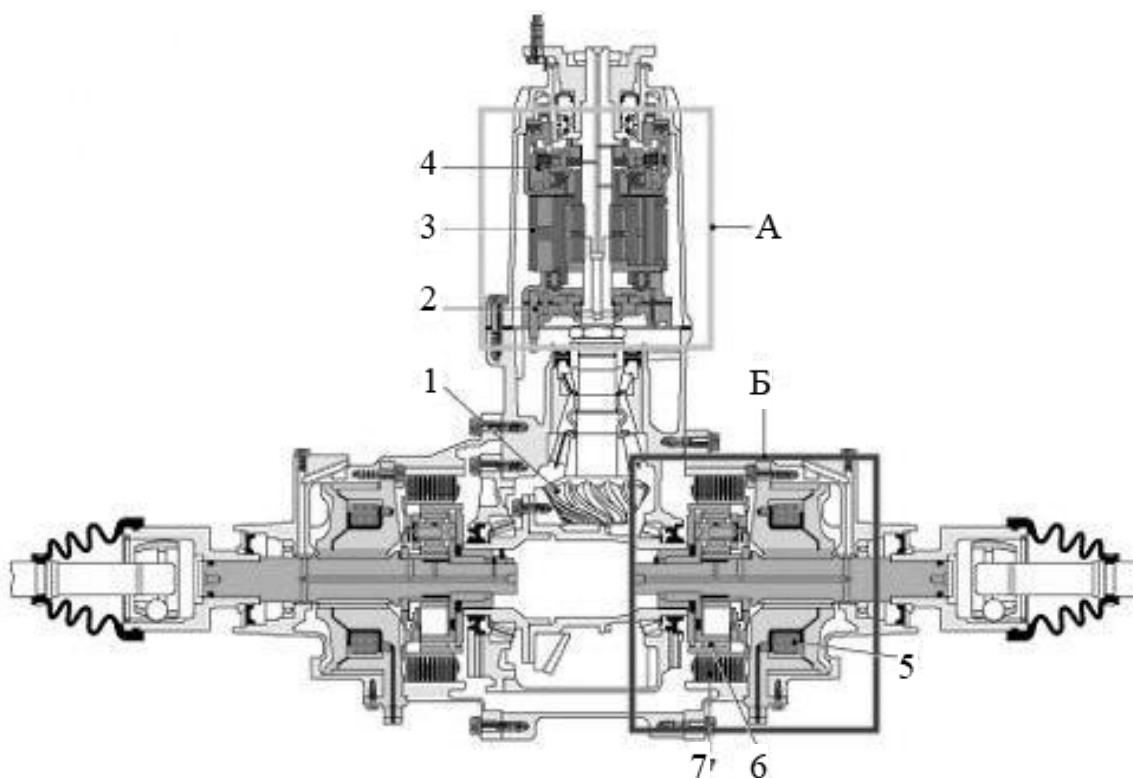


Рис. 4.39. Задній диференціал SH-AWD:

- 1 – гепоїдна передача; 2 – гідравлічний привід; 3 – планетарна передача;
4 – зчеплення пристрою прискорення; 5 – соленоїд; 6 – планетарна передача;
7 – зчеплення приводів півосей

В системі SH-AWD додатково задіяно прискорювальний блок «А», що робить більш надійним поведінку автомобіля в крутих поворотах. Прискорювач примусово «підкручує» задні колеса в віражах.

Під час руху по прямій, шестерні планетарної передачі блоку «А» обертаються синхронно з карданним валом, швидкість передніх і задніх коліс однакова. При вході в поворот, гідравлічний привід (героторна муфта) прискорювача за допомогою власного модуля зчеплення включає планетарну передачу в роботу. При цьому, заднє колесо з потрібного боку «Б» підкручується до оптимальної швидкості. Система SH-AWD функціонує на всіх передачах, включаючи задню.

Електронний блок керування SH-AWD кореспондує з ЕБК двигуном і системою стабілізації VSA. Блок керування двигуном надає дані про оберти двигуна, тиск у впускному колекторі і передаточне відношення в трансмісії. Система VSA надсилає дані від датчиків: обертання коліс, кута повороту керма, прискорення і відхилення від курсу (кут ризикання).

В системі AWC (All Wheel Control) задні колеса при повному приводі підключаються через фрикційну ELSD муфту з електромагнітним керуванням, розташовану в блоці заднього моста (рис. 4.40).

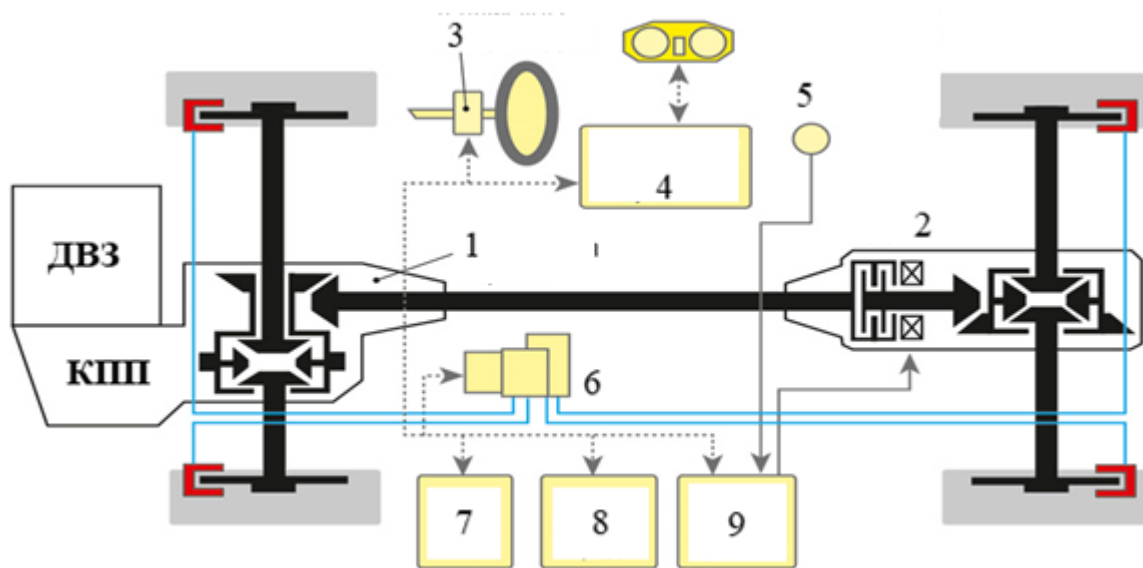


Рис. 4.40. Конфігурація системи AWC:

- 1 – роздавальна коробка; 2 – міжосьова муфта; 3 – датчик кута повороту керма;
 4 – центральний модуль; 5 – селектор режиму; 6 – модуль ESP;
 7 – ЕБК двигуна; 8 – ЕБК коробки передач; 9 – ЕБК повного приводу

У режимі 2WD задіється передній привід (за винятком окремих дорожніх ситуацій). В режимі 4WD Auto електроніка визначає, скільки моменту передавати на задню вісь (до 40%) і чи варто блокувати центральну муфту. В режимі 4WD Lock муфта однозначно блокується, розподіляючи тягу порівну між передніми і задніми колесами. У всіх

режимах електроніка змінює ступінь зчеплення муфти, проте конструктивно не може замкнути її повністю. Міжколісного блокування в даній схемі немає, їх імітує система курсової стійкості ESP, яка пригальмовує колеса, які буксують.

Електронний блок системи AWC кореспондує через CAN-шину з ЕБК суміжних систем і органів керування: ДВЗ (положення дроселя, швидкість обертання); ESP (кутові швидкості коліс, сигнали обмеження обертаючого моменту); перемикача режиму; блоку панелі приладів. Система оцінює дорожні умови і на основі сигналів від всіх ЕБК розраховує оптимальну силу стиснення муфти (силу струму котушки) і направляє необхідну частку обертаючого моменту на задні колеса.

Super-AWC це модифікований привід AWC, придатний керувати не тільки розподілом обертаючого моменту між осями, але і між колесами осі. Система S-AWC має три конфігурації: Outlander; Lancer Evolution; Outlander PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) [51].

У конфігурації *Outlander* базова система AWC доповнена переднім активним диференціалом AFD з регулюванням розподілу обертаючого моменту між колесами передньої осі за допомогою фрикціону з електромагнітним керуванням. В S-AWC також інтегровані системи рульового керування EPS і курсової стійкості ESP (рис. 4.41).

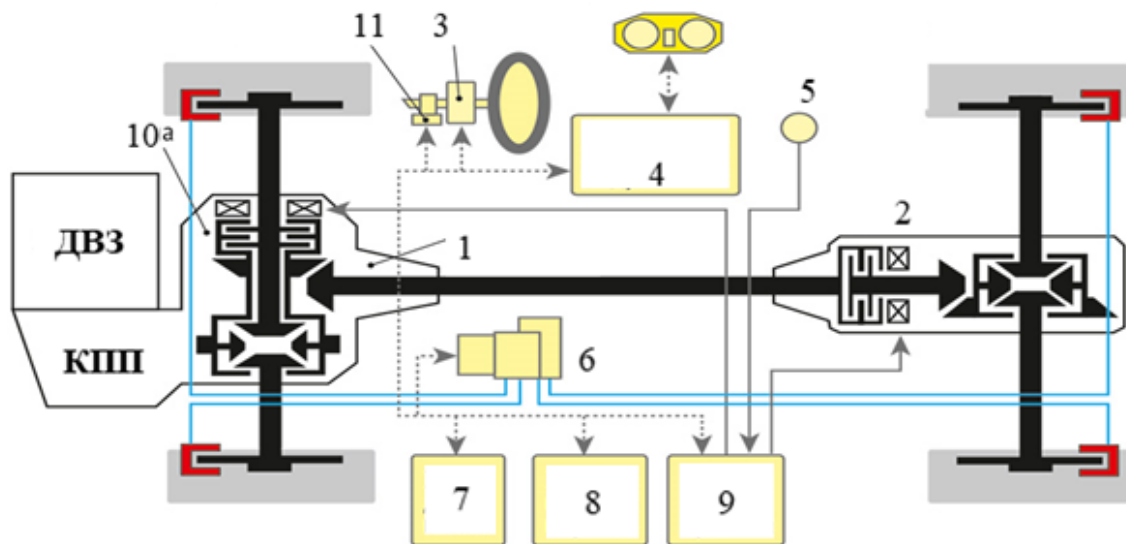


Рис. 4.41. Конфігурація Outlander системи S-AWC:

- 1 – роздавальна коробка; 2 – міжосьова муфта; 3 – датчик кута повороту керма; 4 – центральний модуль; 5 – селектор режиму; 6 – модуль ESP; 7 – ЕБК двигуна; 8 – ЕБК коробки передач; 9 – ЕБК повного приводу; 10 – муфта блокування переднього диференціала; 11 – електромотор підсилювача керма

Щоб стиснути фрикціони AFD, блок керування повним приводом подає струм на обмотку електромагніту і при наявності різниці в швидкостях обертання передніх коліс, впливає на кульковий натискний механізм, створюючи осьове зусилля для фрикціона (як в AWC).

Ступінь блокування диференціала змінюється електронікою залежно від умов руху. Трансмсія S-AWC має чотири робочих режими:

- AWC ECO – подає момент на передню вісь і підключає задню вісь тільки під час пробуксовки;
- NORMAL – оптимально розподіляє момент по всіх колесах відповідно до дорожніх умов;
- SNOW – призначений для пересування по снігу, льоду та іншим слизьким покриттям;
- LOCK – замикає всі диференціали, забезпечуючи найбільший позашляховий потенціал.

У конфігурації *Lancer Evolution* центральний диференціал ACD блокується вбудованою багатодисковою муфтою з гідроелектричним керуванням. Передній міжколісний диференціал з механічним блокуванням, а задній – активний АYC, здатний примусово змінювати вектор тяги. Склад системи показаний на рис. 4.42.

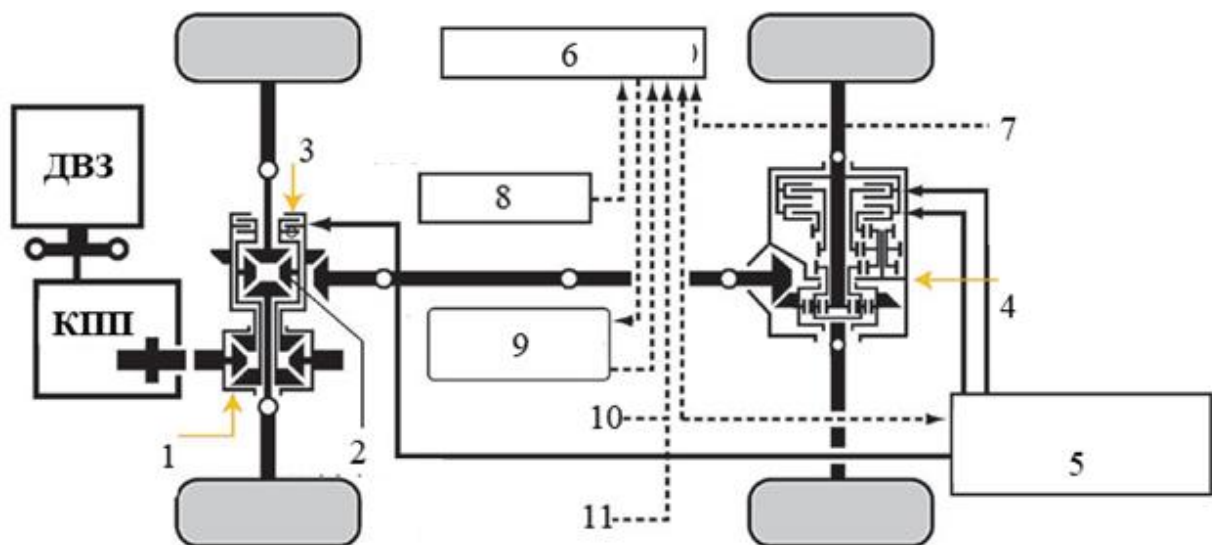


Рис. 4.42. Конфігурація *Lancer Evolution* системи S-AWC:

- 1 – міжосьовий диференціал; 2 – передній диференціал; 3 – муфта блокування ACD; 4 – задній диференціал АYC; 5 – гідронасос з гідроаккумулятором;
- 6 – блок керування ACD і АYC; 7 – датчики суміжних систем;
- 8 – блок керування ABS; 9 – селектор режимів; 10 – датчик вмикання ручного гальма; 11 – сигналізатор стоп-сигналу

Датчики суміжних систем 7 надають інформацію про: кутове положення керма; положення дросельної заслінки; кутові швидкості коліс; повздовжнього та поперечного прискорення автомобіля (ESP).

У конфігурації гібрида *Outlander PHEV*, ДВЗ підключається через електромагнітну ELSD муфту до переднього вільного диференціалу паралельно з електроприводом коліс(рис. 4.43).

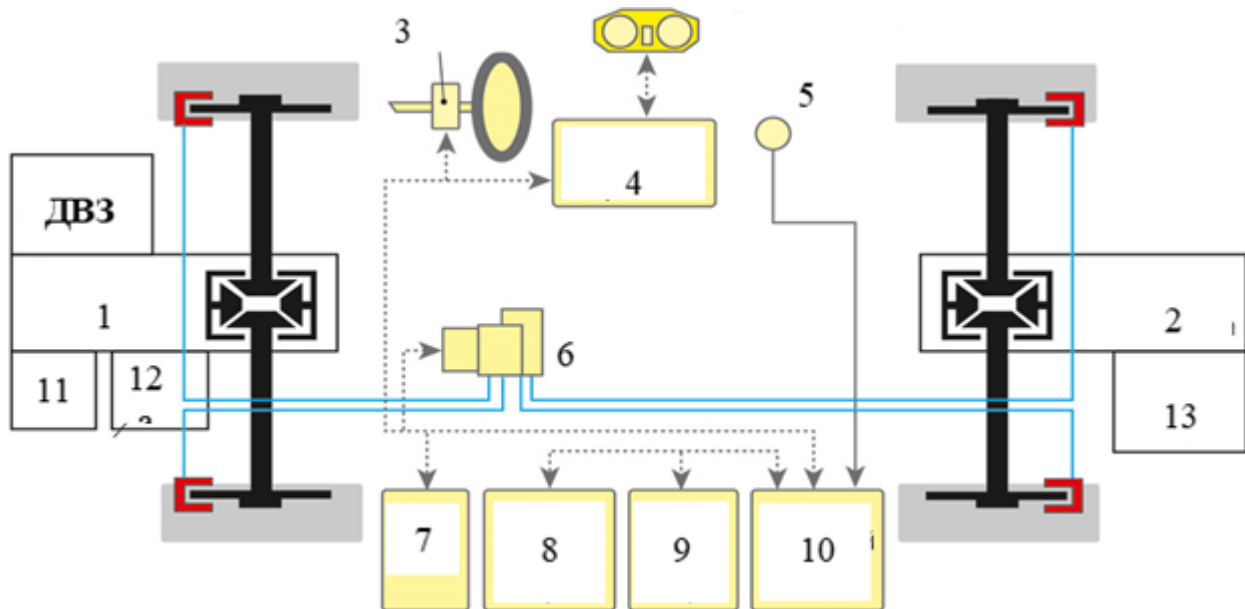


Рис. 4.43. Конфігурація *Outlander PHEV* системи S-AWC:

1 – передня головна передача; 2 – задня головна передача; 3 – датчик кута повороту керма; 4 – центральний модуль; 5 – селектор режиму; 6 – модуль ESP; 7 – ЕБК двигуна; 8 – ЕБК переднього електромотора; 9 – ЕБК заднього електромотора; 10 – ЕБК гібридної трансмісії; 11 – генератор; 12 – передній електромотор; 13 – задній електромотор

Задні колеса приводяться від автономного електродвигуна через вільний диференціал. Вектор тяги керується шляхом пригальмування коліс задньої осі.

Контрольні запитання

1. Поясніть структуру та функціонування МС зчеплення?
2. Назвіть оригінальні компоненти електричних систем керування зчепленням.
3. Поясніть особливості устрою роботизованих КПП.
4. Поясніть особливості устрою автоматичних КПП.
5. Які типи клапанів застосовуються в електрогідравлічній АКПП?
6. Перелічіть датчики системи керування АКПП.
7. Поясніть особливості устрою різновидів варіаторних КПП.

8. За якими ознаками класифікують передаточні муфти приводу?
9. Поясніть устрій і функціонування в'язкісних муфт обмеженого тертя.
10. Поясніть устрій і функціонування фрикційних муфт обмеженого тертя з електромагнітним керуванням (ITM, ATC).
11. Поясніть устрій і функціонування фрикційних муфт героїдного типу.
12. Поясніть устрій і функціонування муфт Haldex.
13. Поясніть устрій і функціонування електромеханічних (x-Drive) та електрогідравлічних (TCCM) роздаткових коробок.
14. Назвіть різновиди електричних диференціалів системи приводу.
15. Поясніть устрій і функціонування варіантних схем заднього диференціалу з векторизацією тяги по колесах.
16. Поясніть устрій і функціонування системи приводу типу DCCD.
17. Поясніть устрій і функціонування системи приводу типу SH-AWD.
18. Поясніть устрій і функціонування системи приводу типу AWC.
19. Назвіть варіанти структурних складових системи трансмісії.
20. Назвіть різновиди систем повного приводу автомобіля.
21. Які виконавчі пристрої використовуються в актуаторах РКП?
22. Поясніть устрій та функціонування РКП з двома зчепленнями.
23. Яким чином реалізуються керуючі впливи в варіаторних КПП?
24. Поясніть устрій і функціонування диференціалів з електромагнітним блокуванням.
25. Поясніть устрій і функціонування диференціалів з електромагнітним керуванням ступеню блокування.
26. Поясніть устрій і функціонування диференціалів з електрогідравлічним керуванням ступеню блокування.
27. Визначте поняття та призначення активних диференціалів.
28. Поясніть структуру і функціонування системи приводу типу Super-AWC у конфігурації Outlander.
29. Поясніть структуру і функціонування системи приводу типу Super-AWC у конфігурації Lancer Evolution.
30. Поясніть структуру і функціонування системи приводу типу Super-AWC у конфігурації Outlander PHEV.

5. Застосування альтернативних приводів

з електронним керуванням

5.1. Концепції розвитку автомобільного транспорту

Основними завданнями вдосконалення автомобільного транспорту є підвищення його паливно-економічних і екологічних показників. Під паливом, в широкому сенсі, розуміють енергоносії, які використовуються для приведення силової установки автомобіля в дію.

Потенційні енергоносії розосереджені і в надрах землі, і на її поверхні, і в атмосферному повітрі, і навіть в космосі. Причому, деякі з них існують в різних субстанціях та акциденціях. Наприклад, водень в різних хімічних сполуках міститься і під землею (вуглеводні), і на землі (біомаса) і в атмосфері.

Ефективність використання енергетичного продукту, з одного боку, оцінюється його енергоємністю, з іншого – витратами на його отримання (транспортування) і якістю (ККД) перетворення в споживчий вид енергії. Особлива увага, приділяється відновлюваним і не лімітованим видам енергетичної середовища. При цьому, слід розуміти, що будь-який продукт, отриманий в результаті процесу фазового переходу речовини, буде в кінцевому підсумку мати більш низьку щільність енергії, ніж продукт, отриманий в результаті процесу, заснованого на хімічних реакціях. У свою чергу, продукти, отримані в результаті хімічних реакцій, мають енергетичну щільність нижче, ніж у речовин, які відчувають ядерні перетворення.

Провідні автомобільні виробники проводять дослідження і розробляють різні варіанти концептуальних автомобілів. При цьому, можна виділити три напрямки розвитку силових установок, які працюють на альтернативних енергоносіях (рис. 5.1).

Перший напрямок полягає в адаптації (конвертації) конструкції теплових ДВЗ під альтернативні види рідкого або газоподібного палива. Перевагою такого підходу є мінімальні витрати на конвертацію двигуна і виробництво палива. Ефективність застосування альтернативного палива, в цьому випадку, оцінюється по декількох позиціях, що характеризуються кількісними показниками:

- екологічною безпекою (питомий вміст шкідливих речовин);
- витратами на отримання (запаси, видобуток, переробка, підготовка);
- енергоємністю палива (теплотворність);

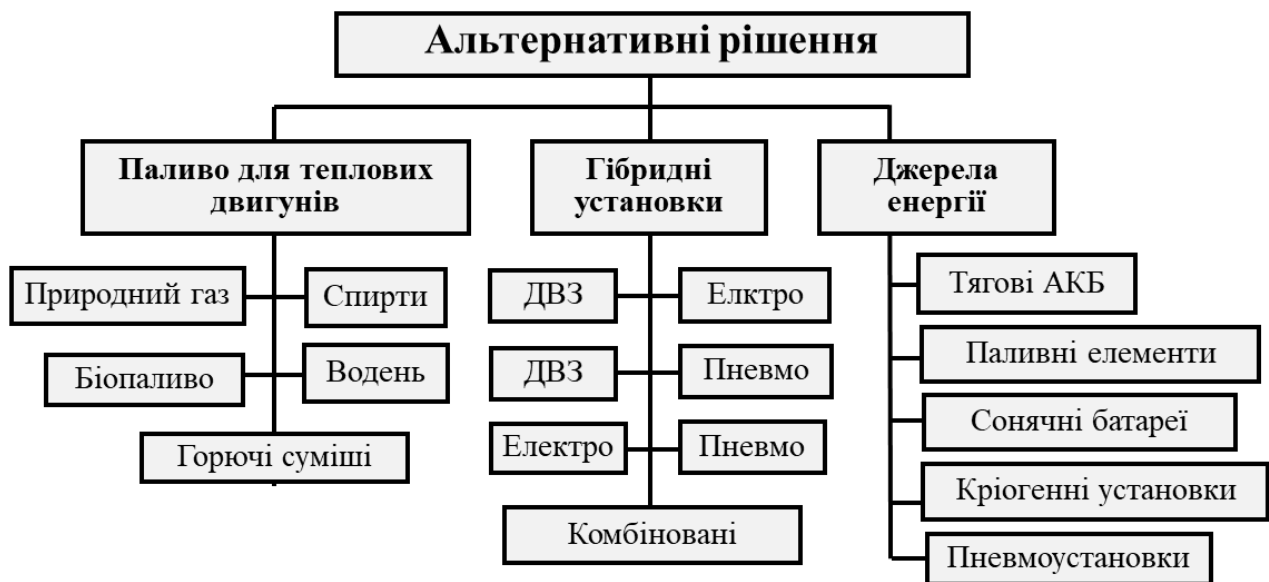


Рис. 5.1. Напрямки розвитку силових установок автомобілів

- якістю використання (ККД двигуна);
- витратами на конвертацію двигуна і додаткове обладнання;
- витратами на інфраструктурні об'єкти.

Другий підхід передбачає використання альтернативних двигунів, що працюють від нетрадиційних джерел енергії. Прикладами таких концептів є новітні розробки АТЗ з електрохімічними гальванічними (див. далі п.п. 5.2), пневматичними (див. далі п.п. 5.5), сонячними, азотними, водневими і навіть ядерними джерелами енергії. Недоліком такого підходу можна вважати значні витрати на розробку силової установки і джерела енергії. При цьому, показники питомої енергії і вартості виробництва більшості альтернативних енергоносіїв значно поступають традиційному бензину і дизельному паливу. Так, наприклад, для отримання енергії, що виробляється 3,7 літрами пального палива, необхідно задіяти 400 кілограмів акумуляторів (0,085 л палива по теплотворності еквівалентне витратам електричної енергії в 1 кВт*год).

Компромісним варіантом є комбінація зазначених підходів з метою побудови гібридних автомобілів. Атрибутами гібридних силових установок (ГСУ) є: основний і допоміжний двигуни, джерело (накопичувач) енергії, перетворювачі енергії, система рекуперації при гальмуванні. Керування ГСУ з номінальними показниками силових агрегатів здійснює електронна система розподілу потужності (див. далі п.п. 5.3).

Відзначимо, що застосування в структурі ГСУ ДВЗ і електроприводу не можна вважати єдиним доцільним варіантом. При дотриманні певних вимог до транспортного засобу та умов експлуатації, цілком доцільним може виявитися, наприклад, використання пневматичного приводу, в якому пневматичний агрегат є основним або допоміжним двигуном (див. далі п.п. 5.6). Зупинимося докладніше на кожному пункті альтернативних рішень і охарактеризуємо інновації з позицій економічної ефективності та екологічної безпеки.

Для автомобілів з тепловими двигунами третім за рейтингом після бензину і дизельного палива є природний вуглеводневий газ, який міститься в спеціальних балонах в зрідженому або компримованому стані (балонний обсяг палива). Джерелами природного газу в надрах землі є різні геологічні локації. Розрізняють традиційні (газові поклади, попутний нафтовий газ) і нетрадиційні (вугільний, бітумний, сланцевий) джерела природного газу. Спосіб видобутку і обсяги покладів природного газу визначають його сировинну ціну [52].

Основну частину природного газу складає метан (CH_4) – від 70 до 98 %. До складу газу можуть входити більш важкі вуглеводні (гомологи метану): етан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), пентан (C_5H_{12}).

Для заправки автомобіля (після переробки сировини) використовуються компримований (стиснений під тиском 20 МПа) метан і зріджений (під тиском 1,5 МПа) пропан (пропан-бутанові суміші).

Загальні переваги газового палива:

- більш низька ціна, щодо бензину;
- екологічна безпека;
- збільшення пробігу на одному об'ємі балонного палива;
- менший знос деталей конвертованих двигунів.

Загальні недоліки газового палива:

- відносний дефіцит інфраструктурних об'єктів;
- зниження потужності і підвищений знос деталей неконвертованих двигунів.

Різні щільності і тиски балонного метану і пропану багато в чому пояснюють переваги та недоліки їх використання в якості автомобільного палива. Газобалонне обладнання (ГБО) для пропану на 70 % дешевше, ніж для метану, а вартість заправки – вище. При цьому, вага балонів з пропаном в кілька разів легше, ніж для стисненого метану, а місткість скрапленого пропану в рівному об'ємі балона забезпечує

втричі більший пробіг, ніж на метані. Втрата потужності ДВЗ, щодо бензину для пропану складає 5 %, а для метану – 20 %. Екологічні показники пропану гірше, ніж у метану. Метан менш вибухо-небезпечний, обладнання для заправки метану простіше, ніж для пропану, але при цьому, мережа заправок метаном менш розвинена.

Слід зазначити, що намітилася тенденція застосування і скрапленого метану на автомобільному транспорті. Така технологія з одного боку дозволяє підвищити щільність енергії палива, з іншого, – вимагає значних енерговитрат, оскільки зріджений метан отримують при охолодженні газу до мінус 160°C. При цьому, його зберігання вимагає застосування спеціальних кріогенних ємностей на заправних станціях і балонів на борту автомобіля (рис. 5.2).

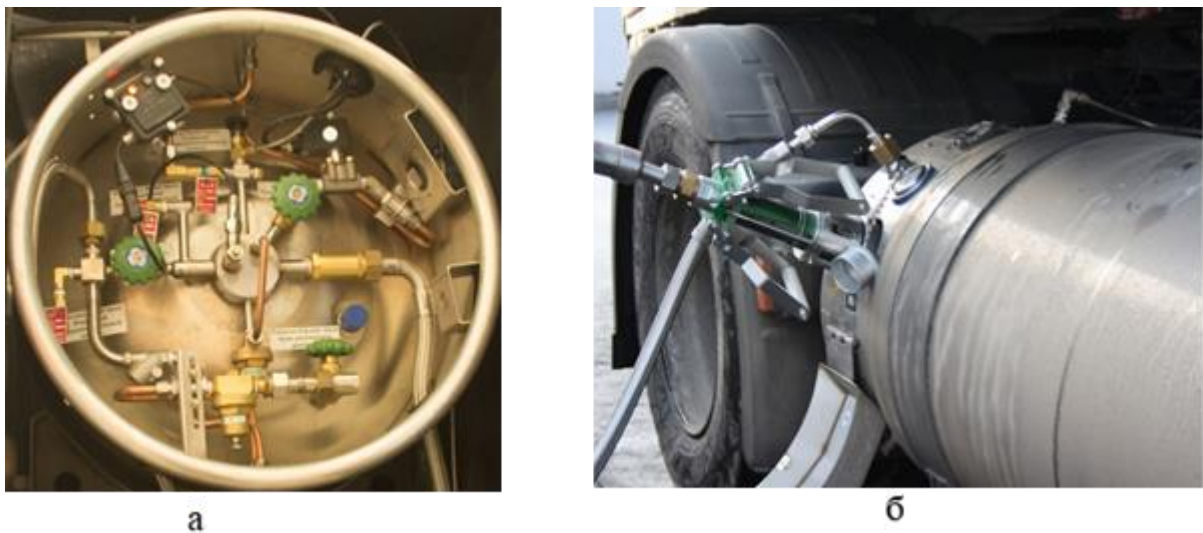


Рис. 5.2. Кріогенні баки для скрапленого метану:

а – автобуса МАЗ 203945 (торець); б – сидельного тягача IVECO Stralis

Для подачі палива в циліндри ДВЗ проводиться двоступеневе зниження тиску – в випарнику і редукторі. Застосування рідкого метану в якості екологічного моторного палива виправдано в умовах оперативного його використання на фіксованих пробігах. Так, наприклад, бак ємністю 320 л. (120 кг метану) забезпечує запас ходу для автобуса, близько 400 км, а сидельний тягач з баком в 700 л здатний подолати більше 700 км маршруту. Високими теплотворними показниками характеризуються спиртові види палива (етанол, метанол, бутанол) і їх суміші.

Етанол (етилловий, хлібний спирт) отримується шляхом зброджування і дистиляції зернових продуктів. Етанол, як і інші види спир-

тів можна змішувати з бензином для отримання палива з вищим октановим числом і меншим вмістом шкідливих речовин у викидах в порівнянні з чистим бензином. Якщо, процентний вміст етанолу в суміші з викопним паливом, становить не менше 85 %, то таку суміш прийнято вважати альтернативним паливом. Суміші з низькими концентраціями етанолу, вважають викопним паливом з додаванням присадки.

Біоетанол – етиловий спирт отриманий в процесі переробки рослинної сировини (біопаливо). У суміші з бензином або дизельним паливом може використовуватися в більшості автомобілів з конвертованими і не конвертованими ДВЗ. З екологічної точки зору використання біоетанолу має сенс, оскільки вуглекислий газ, який виділяється при спалюванні в двигуні, компенсується газами, поглиненими їм під час його виробництва. Недолік – підвищена витрата.

Метанол (деревний, метиловий спирт) може використовуватися в якості альтернативного виду палива в транспортних засобах з конвертованим ДВЗ (суміш метанолу – 85% і бензину – 15%). На даний час метанол має обмежене застосування на транспорті. Однак в перспективі, може використовуватися як джерело водню для роботи паливних елементів.

Аміак (нашатирий спирт) – сполука водню і азоту. Аміак має низьку щільність енергії (в два рази нижче, ніж у бензину), але його виробництво дешевше інших спиртів. Використовується в якості палива для поршневих двигунів, а також в паливних елементах. У аміаку немає вуглецю, тому він виробляє нульові шкідливі викиди вуглекислого газу. Обмеження в застосуванні пов'язані з безпекою зберігання і транспортування. На транспорті використовується змішане паливо, яке на 70% складається з аміаку і тільки на 30% з бензину.

Біодизельне паливо (жири) – пальне, отримане на основі рослинних масел (ріпаку), тваринних жирів або ліпідів мікроводоростей. Промислове виробництво біодизельного палива обходиться дорожче, ніж отримання дизельного палива з нафти. Речовина безпечна, піддається біохімічному розкладу і знижує вміст речовин, що забруднюють повітря (тверді домішки, монооксид вуглецю, вуглеводні). Використовується і в чистому вигляді (для конвертованих ДВЗ) і в якості добавки до вуглеводного дизельного палива (для неконвертованих ДВЗ).

Водневе паливо (альтернатива вуглеводневим) має питому теплоту згоряння в три рази вище, ніж у бензину і в процесі згоряння не виділяє шкідливих речовин. Це паливо являє відновлюваний продукт,

оскільки виробляється з води і після згоряння перетворюється в її конденсат. Але виробництво водню обходиться набагато дорожче, ніж бензину (енерговитрати). До того ж, його зберігання під тиском вибухонебезпечне. Використання водню як монопалива на неконвертованому двигуні, знижує його потужність до 70 %. У конвертованому ДВЗ потужність можна збільшити до 117 % але при цьому, відбувається вихлоп окислів азоту і знижується ресурс двигуна. Компромісним рішенням можуть стати суміші традиційного палива з воднем для поліпшення займистості бідних сумішей.

Багатокомпонентні горючі суміші в своєму складі містять етанол, газоконденсатну рідину і допоміжний розчинник, отриманий з біомаси. Мають високе октанове число, використовуються в АТЗ з універсальною паливною системою в чистому виді або в суміші з бензином в будь-якому співвідношенні. Відзначимо, що всі види альтернативних горючих видів палива є невідновлювальними енергоносіями.

По третьому напрямку розвитку дамо коротку характеристику силових установок автомобільних концептів з альтернативними джерелами енергії.

Електрична енергія використовується для АТЗ з живленням від тягових АКБ (ТАБ), або працюють на паливних елементах. У першому випадку, при розробці електромобіля виникає ряд специфічних питань, пов'язаних із забезпеченням необхідної ємності ТАБ (вага, габарити, рівень напруги) і потужності електроприводу (електродвигун, трансмісія); розташуванням ТАБ на боту автомобіля (центр мас); використанням системи рекуперації енергії охолодження електричних агрегатів; підтриманням експлуатаційних характеристик силової установки (прийомистість, час заряду ТАБ).

Основним стримуючим фактором у розвитку АТЗ з автономною електричною тягою є низька енергоемність тягових АКБ. Так, наприклад, кращі літій-іонні АКБ мають питому енергію до 0,4 МДж/кг, в той час як для бензину цей показник становить близько 40 МДж/кг. Навіть з урахуванням триразової різниці в ККД і можливості рекуперації енергії гальмування, потрібна приблизно тонна батарей, щоб замінити 40-літровий бензобак.

Таким чином, до недоліків застосування електричного приводу слід віднести: високу вартість і обмежений термін служби ТАБ (до 7 років), необхідність тривалої зарядки, обмежений ресурс автономного

переміщення. При цьому, експлуатаційні витрати на утримання електромобіля нижче, ніж автомобіля з ДВЗ [53].

У паливному елементі протікає електрохімічна реакція між воднем і киснем, зворотна електролізу за участю каталізаторів. У результаті цієї реакції, утворюється різниця електричних потенціалів між електродами елемента. Реакція супроводжується виділенням тепла (без займання) і води. Для виробництва електроенергії в автомобілі, водень міститься в паливному баку, а кисень надходить з повітря. В даний час, багато провідних автовиробників займаються розробкою автомобілів з паливними установками. Так, наприклад, водневий автомобіль, побудований на базі електромобіля з переднім приводом Mirai (Toyota) від електродвигуна на 112 кВт, оснащений паливною установкою з запасом 5 кг водню в баках (120 л. під тиском 70 МПа), яка забезпечує запас ходу близько 400 км (рис. 5.3).

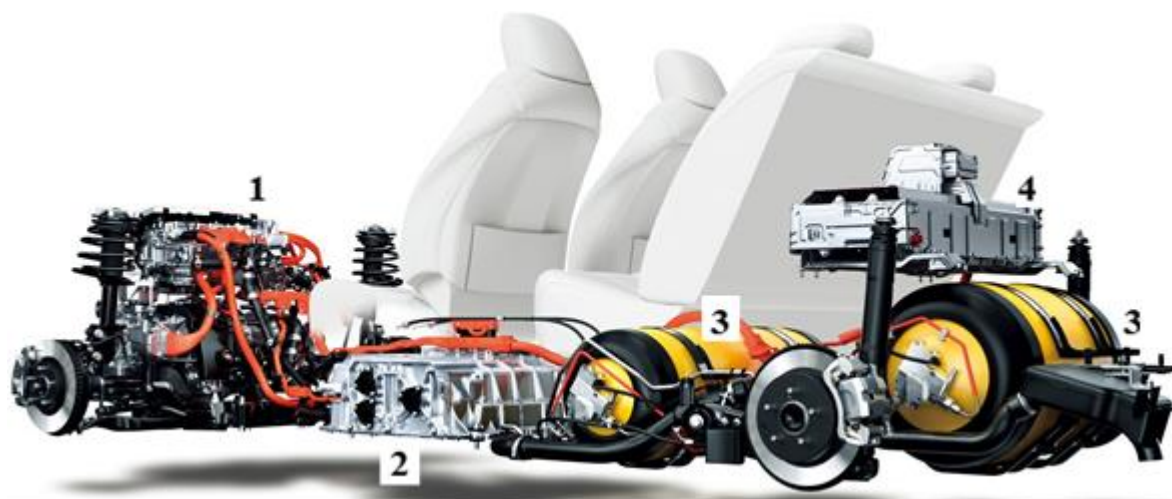


Рис. 5.3. Компонування шасі водневого автомобіля Toyota Mirai:

1 – електродвигун; 2 – блок паливних елементів; 3 – баки з воднем;
4 – електричний акумулятор

На заправку воднем такого автомобіля йде 3 хвилини. Енергетичний блок містить 370 водневих паливних елементів постійного струму і інвертор, що підвищує напругу до 650 В. Максимальна швидкість машини досягає 175 км/год. Для акумуляції енергії паливного агрегату і рекуперативного гальмування, використовується нікель-метал-гідрид ТАБ на 2 кВт*год [54].

Енергія, запасена в рідкому азоті (78 % повітря), так само як і в стисненому повітрі (атмосферні відновлювані ресурси), може бути ви-

користана для забезпечення руху автомобіля. При цьому, розглядаються два способи перетворення видів енергії – безпосереднє перетворення за допомогою пневмодвигуна і двоступеневе перетворення з генераторною установкою і електродвигуном.

Кріогенна силова установка [55], складається з вакуумного бака 1, газифікатора 2, повітряного теплообмінника 3 і пневмодвигуна 4 (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Конструкції кріомобілів:
а – з пневмоприводом; б – з електроприводом

Пневмопривід коліс (рис. 5.4, а) або генератора 6 (рис. 5.4, б) реалізується за допомогою поршневого 4 або лопатевого (ротаційного) пневмодвигуна 5. В ГСУ з електроприводом 7 передбачається буферний накопичувач для системи рекуперації енергії гальмування. Кріомобілі з електроприводом за багатьма показниками можна порівняти з електричними гібридами, які заряджаються. При цьому, можна відзначити і деякі переваги:

- доступна, дешева невибухонебезпечна і негорюча сировина;
- кращі екологічні показники при утилізації та відновленні термічних баків, в порівнянні з електричними АКБ;
- швидка зарядка, в порівнянні з електричними АКБ;
- використання побічного тепла ДВЗ (в гібридах з ДВЗ).

Недоліки кріогенних силових установок викликані декількома факторами:

- високі енергетичні витрати на виробництво рідкого азоту (до 1 кВт*год/л) і додаткові витрати на обладнання (термостатований балон, газифікатор, теплообмінник);
- низька енергетична щільність рідкого азоту, в порівнянні з вуглеводневими паливами;

- негативний вплив побічного продукту виробництва азоту з атмосферного повітря (рідкого кисню) на навколишню органіку;
- небезпека прямого контакту з тілом людини (обмороження);
- реструктуризація деяких конструктивних матеріалів під дією низьких температур;
- обмерзання магістралей теплових потоків;
- відсутність інфраструктури заправки.

Перераховані фактори призводять до збільшення маси транспортного засобу, підвищенню складності конструкції, зниження ККД і збільшення вартості силової установки.

Сонячна енергія, по суті, є не лімітованим продуктом енергетичного середовища космосу. Основна проблема мобільних джерел сонячної енергії це обмежена поверхня транспортного засобу для отримання достатньої електричної потужності за рахунок сонячних елементів ККД яких, становить близько 20%. Електромобіль на сонячних елементах, зібраних в батарею, у своєму складі також має і накопичувальну батарею.

На сучасному рівні науково-практичних досягнень показано, що реальний легковий сонцемобіль може проїхати пару десятків кілометрів на енергії, виробленої сонячною батареєю протягом світлового дня. При цьому, для руху транспортного засобу потрібна сонячна панель потужністю в кілька сотень Ватт, електродвигун потужністю близько 2 кВт і накопичувальна батарея сумірної ємності. Однак, невеликий пробіг і недостатня потужність приводу на сонячному потенціалі не забезпечує споживчих запитів по їздовим якостям і умовам експлуатації сучасного автомобіля. Тому, подальший розвиток сонячної енергетики на автомобілі пішов за другим напрямом розвитку – гібридизації джерела електричної енергії. Сонячна батарея, стала додатковим засобом поповнення енергії ТАБ електромобілів.

На даний час, розробляються випробувані дослідні зразки і навіть запропоновані дрібносерійні варіанти електромобілів з підзарядкою від «безкоштовного» сонця [56]. В силу своєї специфіки, конструкції таких електромобілів зовні відрізняються від автомобілів з традиційними кузовами (рис. 5.5).

Електромобіль з сонячними батареями Eclectic французької компанії Venturi (рис. 5.5, а) забезпечує пробіг без підзарядки накопичувальної (тягової) батареї, до 50 км при середній швидкості руху 50 км/год.



Рис. 5.5. Конструкції електромобілів з сонячними батареями:
а – Eclectic; б – Astrolab

За допомогою сонячних панелей площею $2,5 \text{ м}^2$ (300 Вт), протягом світлого дня можна акумулювати енергію, достатню для пробігу до 10 км . При необхідності, заряд нікель-метало-гідридної ТАБ ємністю $9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ проводиться від звичайної розетки, за 5 годин. Крім сонячної енергії Eclectic може використовувати енергію вітру (пробіг до 15 км/день). У концепті використовується асинхронний електродвигун потужністю 11 кВт з обертовим моментом 45 Нм . Вага автомобіля складає 400 кг , а ціна від 20 тисяч доларів.

Наступна модель концепту Venturi Astrolab (рис. 5.5, б) вийшла на комерційний рівень з поліпшеними показниками: потужність силової установки 16 кВт (обертаючий момент 50 Нм), максимальна швидкість 120 км/год , пробіг до 110 км . При цьому, площа фотогальванічних елементів загальною потужністю 600 Вт збільшилася до $3,6 \text{ м}^2$, а ємність ТАБ знизилася до $7 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ (вага 110 кг). Загальна вага авто залишилася незмінною, але ціна підскочила до 92 тисяч євро.

Подальше вдосконалення сонячних електромобілів йде по шляху підвищення ефективності сонячних панелей і зниження ємності ТАБ при заданій потужності силової установки. Розробники конкуруючих компаній, в найближчому майбутньому, очікують від своїх електричних концептів домогтися до 20000 км пробігу за рік, тільки на енергії сонця. При цьому, їздові якості транспортного засобу будуть задовольняти вимогам широкого класу автомобілів.

До розглянутих джерел енергії транспортних засобів, в неблизькому майбутньому, можна додати ядерні реактори, які працюють на

атомному торії. Енергетична щільність такого палива дозволяє експлуатувати автомобіль на одній «стартовій заправці» (8 грам на мільйони кілометрів пробігу) [57].

І на кінець, електромагнітні поля (геомагнітні, наземні, близькоземні і космічні випромінювачі) в далекому майбутньому можуть використовуватися, як енергетичний продукт для приведення в дію мобільних об'єктів [58]. В цьому випадку, заправні станції трансформуються в розподілені інфраструктурні об'єкти у вигляді комплексу антенних резонаторів-приймачів і трансляторів енергії [59]. Останні, передаватимуть енергію у вигляді електромагнітних коливань фіксованої (несучої) частоти на борт транспортного засобу в процесі його руху. Таким чином, частотне нормування «безконтактної заправки» хвильовим енергоносієм, дозволить звести до мінімуму витрати на реалізацію резонатора-приймача на борту транспортного засобу.

5.2. Склад і структура електричного приводу автомобіля

У загальному випадку, склад електричного приводу (ЕП) автомобіля можна надати компонентними варіантами його основних функціональних елементів [2, 5] (рис. 5.6).

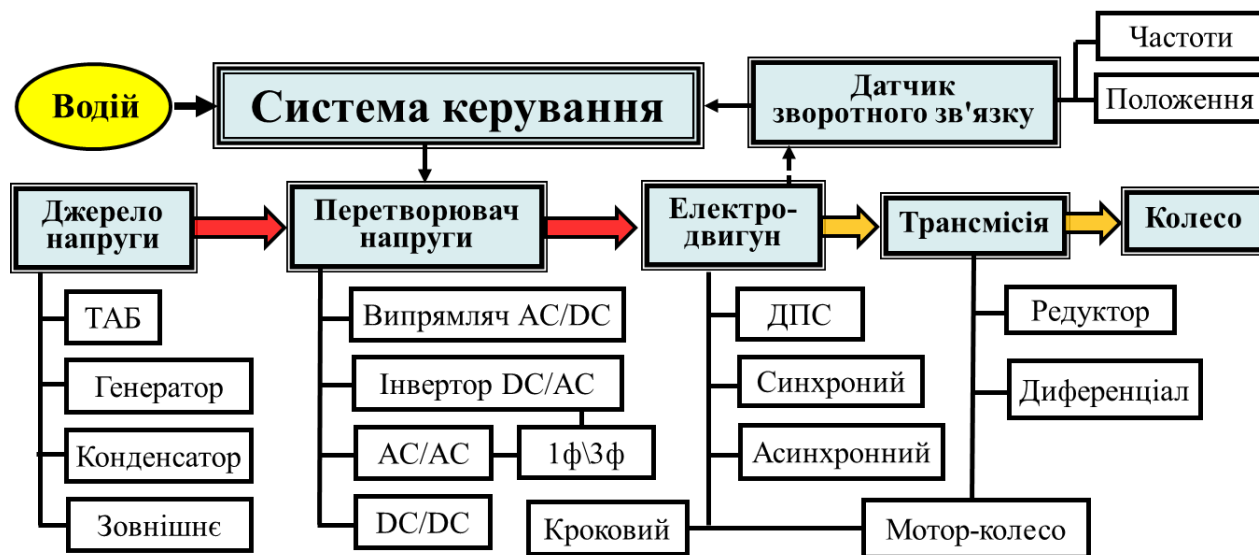


Рис. 5.6. Структурний склад електроприводу автомобіля

Первинним джерелом електричної енергії на електромобілях є тягова акумуляторна батарея (ТАБ). Вона складається з безлічі окремих акумуляторів, підключених послідовно (рис. 5.7).

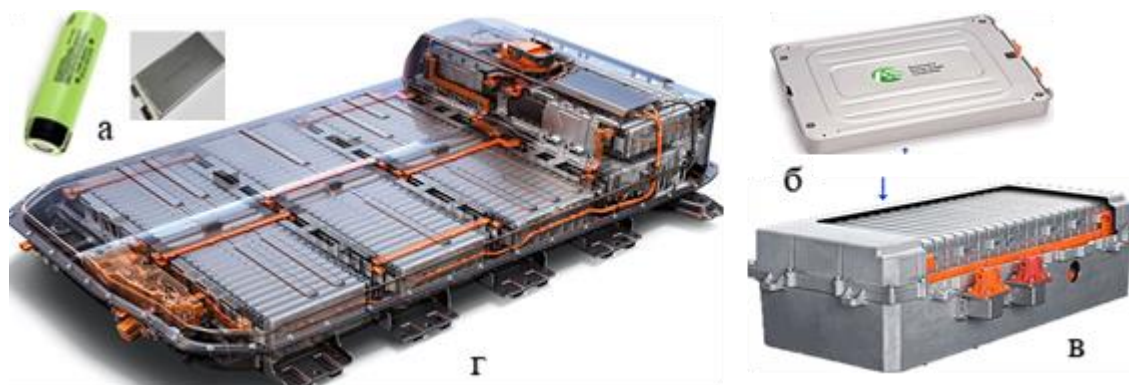


Рис. 5.7. Устрій тягової акумуляторної батареї:

а – акумулятори осередку; б – касетна збірка акумуляторів; в – модульне складання касет; г – тягова батарея Chevrolet Volt EV у зборі

На виході ТАБ формується напруга в межах 300...700 В при ємності 60 кВт*ч, сумірною з потужністю тягового двигуна (до 100 кВт). В електромобілях, найчастіше використовують літій-іонні батареї. Середній період експлуатації таких ТАБ становить 8 років, число циклів зарядів батареї становить кілька тисяч циклів. При цьому, вони мають підвищену питому енергетичну ємність (0,8...2,6 кВт*год/кг), малий саморозряд і поліпшені зарядні характеристики.

Основним обмеженням літій-іонних акумуляторів є вузький діапазон робочих температур (25...45°C) і висока собівартість. Знижені температури викликають втрату ємності, підвищені, – ведуть до руйнування структури. У зв'язку з цим, в конструкції ТАБ встановлюються датчики температури і передбачається система примусового охолодження. Важливу роль при цьому, відіграє коректна експлуатація ТАБ, яка передбачає: нормативну зарядку і розрядку батареї; розумну експлуатацію в зимовий і літній періоди; грамотний вибір навантажувального режиму; своєчасне визначення втрати ємності окремих акумуляторів [60].

За рахунок наявності в конструкції бортового зарядного пристрою гарантується зарядка акумулятора від промислової електромережі.

Генератор використовується в гібридних установках і приводиться в дію від ДВЗ. Служить автономним джерелом електроенергії для заряду ТАБ або живлення тягового електродвигуна. У рекуперативних системах генератор приводиться в дію за рахунок енергії гальмування автомобіля.

Конденсатор великої ємності зазвичай використовується як буферний накопичувач енергії в гібридних установках або рекуперативних системах. У порівнянні з ТАБ, конденсатор характеризується високою динамікою зарядно-розрядних процесів.

Використання електричної тяги стало пріоритетним напрямком розвитку якісної структури АТЗ завдяки ряду переваг електродвигунів (ЕД) перед ДВЗ в транспортних режимах:

- високий коефіцієнт корисної дії (до 95 %);
- висока питома потужність і низька ціна;
- простота використання і керування;
- екологічність при експлуатації;
- надійність і довговічність;
- переважно повітряне охолодження;
- мінімальна вага трансмісії (не вимагає КПП);
- можливість рекуперації енергії в режимі генератора;
- максимальні показники обертаючого моменту M і потужності N

в широкому діапазоні швидкостей обертання.

В електромобілях, у якості тягових можуть використовуватися різні типи електродвигунів. Широке застосування знайшли оборотні машини постійного і змінного (синхронні, асинхронні) струму з вентильним керуванням. У назві типу електричного двигуна (ЕД) закладено кілька слів, що визначають його якісні характеристики (атрибути):

- рід струму (змінного, постійного) і число фаз живлення напруги (однофазний, трьох-фазний, багатофазний);
- спосіб передачі енергії на ротор (колекторний, безколекторний, індукторний, реактивний);
- принцип побудови двигунів змінного струму (синхронний, асинхронний з короткозамкненим або фазним ротором);
- спосіб подачі напруги живлення (мережеві, вентильні);
- особливості компонування ротора (із вбудованими постійними магнітами, з поверхневою установкою постійних магнітів, з обмоткою збудження, реактивні, індукторні) і конструкції двигуна (станини, фланцеві, дискові);
- частини ЕД, яка обертається (осьові, ступичні) і розташуванню якірної обмотки (на роторі, на статорі).

Остання ознака є визначальним для систем мотор-колеса. Дамо характеристику ЕД обмеженого та спеціального призначення.

Індукторні синхронні машини (двигуни і генератори) мають традиційну конструкцію статора з розподіленими полюсами якірної багатофазної обмотки, включеної за схемою «трикутник» або «багатокутник». Обмотка збудження також розташована на статорі і утворює з залізом машини індуктор (пристрій збудження магнітного потоку). Зважаючи на відсутність електричного кола на роторі, такі машини відносяться до групи безконтактних роторних пристроїв. Конструкція 4х-фазної індукторної машини показана на рис. 5.8.



Рис.5.8. Устрій індукторної машини:

а – схема компоновки; б – конструкція ротора; в – конструкція статора

У синхронному двигуні може використовуватися збудження від постійних магнітів, розташованих на роторі (обмотка збудження відсутня). Такі двигуни відрізняються рядом переваг:

- немає щітково-колекторного вузла (підвищений ресурс, надійність, діапазон робочих швидкостей);
- широкий діапазон напруги живлення, допускаються значні перевантаження по моменту;
- висока динаміка моменту;
- можливе регулювання швидкості зі збереженням моменту на низьких швидкостях або зі збереженням потужності на високих швидкостях;
- ККД більше 90 %;
- мінімальні втрати на холостому ході;
- невеликі масогабаритні показники.

Синхронний реактивний електродвигун має статор традиційної полюсної структури з розподіленою обмоткою і не має обмотки збудження або постійних магнітів. Обертаючий момент реактивного двигуна обумовлений нерівністю магнітних провідностей по поперечній і поздовжній осях ротора. Для отримання реактивного поля використовуються різні конструкції ротора (рис. 5.9).

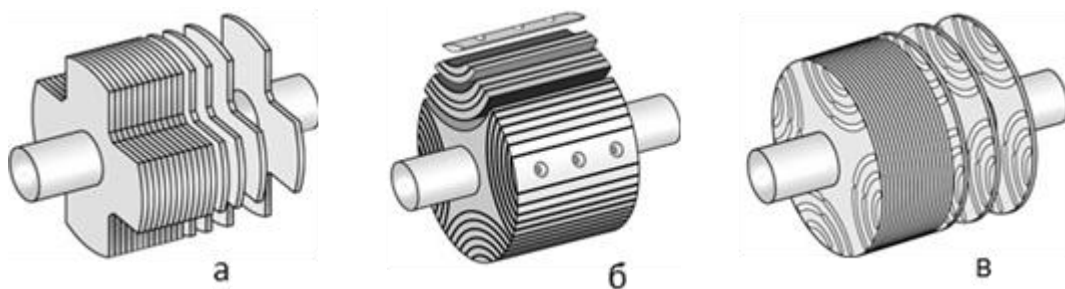


Рис. 5.9. Конструкція ротора синхронного реактивного двигуна:

а – з явно вираженими полюсами; б – аксіально-розширований;

в – поперечно-розширований

Поверхня ротора з явно вираженими полюсами повторює конструкцію індукторного двигуна, і тому отримали назву – індукторні-реактивні (ІРД). Переваги реактивних двигунів:

- безконтактний;
- проста і надійна конструкція ротора без магнітів і обмотки;
- низький нагрів (в роторі відсутні струми);
- низька ціна електродвигуна;
- низький момент інерції ротора (економія енергії на розгін);
- широкий діапазон регулювання швидкості.

До недоліків реактивних двигунів слід віднести низький коефіцієнт потужності і необхідність використання перетворювачів частоти при керуванні у швидкісному діапазоні.

Вентильні двигуни на відміну від двигунів прямого підключення (від промислової мережі) мають зовнішню комутацію струму живлячої напруги за допомогою DC/AC перетворювачів – інверторів. Система безколекторного вентильного двигуна крім багатофазної машини змінного струму (синхронної або асинхронної) додатково включає перетворювач координат, інвертор і датчик положення.

Вентильний індукторний двигун (ВІД) поєднує в собі властивості і електричної машини, і інтегрованої системи керованого електроприводу. Як система регульованого електропривода, ВІД дає можливість здійснювати керування цим процесом відповідно до особливостей конкретного навантаження: регулювати частоту обертання, момент і потужність. У якості тягових ЕД на транспортних засобах знайшли застосування вентильні електродвигуни наступних типів:

- асинхронний з короткозамкненим ротором АДКР;
- синхронний з поверхневими постійними магнітами СДПМП;
- синхронний із вбудованими постійними магнітами СДПМВ;

- синхронний реактивний з постійними магнітами СРД-ПМ;
- синхронний двигун з обмоткою збудження СДОЗ.

Нижче представлені порівняльні характеристики, перерахованих типів вентильних двигунів при обмеженому струмі статора (рис. 5.10).

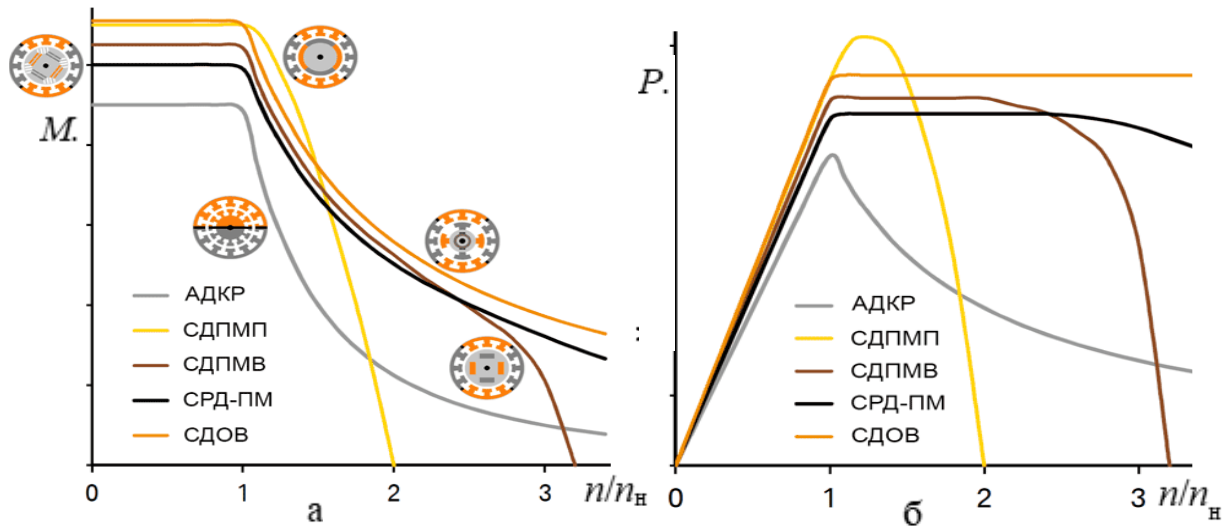


Рис. 5.10. Механічні характеристики електродвигунів різних типів:
а – моментні; б – потужнісні

Згідно наведеним характеристикам, найбільш придатними для застосування у якості тягових агрегатів на автомобілі є електродвигуни типу СРД-ПМ і СДОВ. Такі двигуни забезпечують високий ККД в широкому робочому діапазоні [61, 62, 63].

На відміну від ЕД загального застосування з установкою на площу станину, розроблені оригінальні конструкції корпусів машин для транспортного приводу (рис. 5.11).

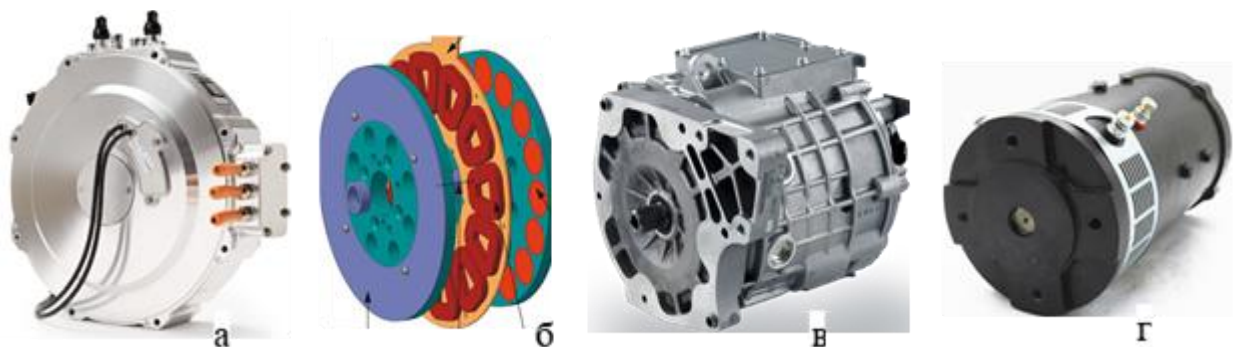


Рис. 5.11. Конструкції тягових електродвигунів: а – дисковий Yasa Motors; б – компоновка плоских полюсів; в – фланцевий; г – циліндричний

Компанія Yasa Motors представила дисковий агрегат, який при вазі 25 кг здатний видавати до 650 Нм обертаючого моменту. Оригінальність конструкції отримана за рахунок застосування технології плоских полюсів (осьових потоків).

Об'єднання електромотора і частини трансмісії в один модуль (електричну трансмісію) привело до появи *універсальних модулів* різного призначення (рис. 5.12).



Рис.5.12. Модулі електроприводів промислових зразків:

а – задньої осі Driveline; б – центральна установка eDrive; в – ведучий міст; г – карданна установка Renault Zoe

Подібний модуль можна використовувати як основний – для привода електромобіля, або як допоміжний, щоб додати електропривод однієї з осей, перетворивши звичайний автомобіль в гібрид з повним приводом. Прикладом застосування трифазного агрегату асинхронного типу є гібридний автомобіль Volt від Chevrolet. А автомобіль з трифазним синхронним двигуном i-MiEV від Mitsubishi є виключно електричним [64].

Другим підходом в реалізації електроприводу автомобіля є застосування технології мотор-колес, яка дає ряд переваг:

- відсутність громіздкої трансмісії;
- відмінна динаміка приводу (обертаючий момент до 700 Нм на низьких обертах);
- маневреність автомобіля за рахунок незалежного керування кожним колесом;
- спрощена система рекуперації енергії гальмування;
- забезпечення активної безпеки руху (реалізація алгоритмів електронних систем гальмування, динамічної стійкості автомобіля, допомоги водієві).

Поряд з цим мотор-колеса мають суттєві недоліки:

- надлишкова маса механізмів, які розміщені всередині обіду, знижує комфорт і керованість, підвищує знос і знижує ефективність підвіски;

- підвищені вимоги до герметичності;

- значні витрати на ремонт мотор-колеса або його заміну.

Системи мотор колеса реалізуються за кількома варіантами, що відрізняються принципом будови і ступенем інтеграції (рис. 5.13).



Рис.5.13. Варіанти конструкцій мотор-колес:

а – активне колесо підвіски дискретної компоновки Active Wheel;

б – ступичний інтегрований електропривод E-Wheel Drive; в – дисковий електромотор; г – мотор-колесо Дуюнова; д – мотор-колесо Шкондіна

Так, наприклад, в конструкції спорт-кара Volage використовується *тяговий двигун Active Wheel* компанії Michelin (рис. 5.13, а). Він важить всього 7 кг, що дозволяє домогтися прийнятної маси колеса – 11 кг. Основа Active Wheel (активне колесо) – легка алюмінієва рама, яка простим жорстким важелем сполучена з підрамником кузова. З'єднання зроблено рухливим, щоб колесо могло повертатися. До внутрішньої поверхні рами кріпляться всі елементи Active Wheel, а сам обід закріплюється на плоскій дископодібній ступиці. Гальмівний механізм складається з диска, що обертається і супортів з електромагнітними актуаторами. Тяговий електродвигун під час гальмування працює в режимі генератора, виробляючи електроенергію для живлення

ТАБ. Підвіска складається зі сталевієї пружини і електричних амортизаторів. Моторчик, керуючий амортизаторами, відповідає також за поворот колеса [65, 66].

Компанія Schaeffler представила ступичний *тяговий електронпривод E-Wheel Drive* (електричний повний привід), розроблений у співпраці з компанією Ford (рис. 5.13, б). Два електродвигуна, встановлені в задні колісні арки автомобіля Ford мають потужність до 40 кВт кожен і розвивають обертаючий момент до 700 Нм.

Мотор-колесо моделі Дуюнова побудовано за принципом асинхронного двигуна де не використовуються постійні магніти (рис. 5.13, г). Конструкція розроблена на основі інноваційних технологій суміщених обмоток. Переваги: собівартість, відмінний накат, низький рівень шуму, подовжений термін експлуатації, підвищена надійність. Обмотки двигуна об'єднані у шести-фазний двигун за схемою «Слов'янки» (комбінація «зірки» і «трикутника») фази якого підключаються до мережі в три етапи (рис. 5.14, а).

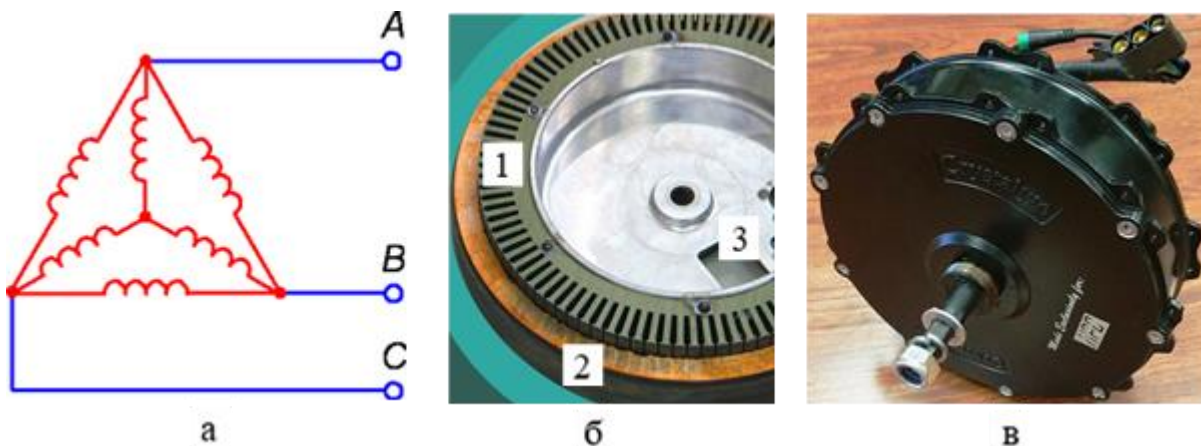


Рис.5.14. Устрій мотор-колеса Дуюнова:

а – включення обмоток по схемі «Слов'янка»; б – конструкція магнітної системи; в – зовнішній вигляд

Конструктивна оригінальність двигуна Дуюнова полягає в тому, що статор двигуна 1 знаходиться всередині (ступиця), а коротко-замкнутий ротор 2, обертається зовні (рис. 5.14, б). Для керування ЕД використовується інформація з датчика кутового положення статора (енкодер) і датчика температури. Датчики 3 розташовані на статорі, а інкрементний диск енкодера – на роторі.

Переваги оригінального ЕД в порівнянні зі звичайними асинхронними: високий ККД в діапазоні навантажень 25...150 % (зниження

витрат електроенергії на 15...50 %); збільшення максимального обертаючого моменту на 10...100 %; збільшення пускового моменту на 20...50 %; зменшення пускових струмів в 2 рази; зниження рівня шуму на 6...7 дБА; зменшення температури нагрівання обмоток [66].

У мотор-колесі Шкондіна також статор розміщений всередині ротора. На статорі встановлені 11 пар магнітів, полярність яких чергується. На роторі встановлені 6 електромагнітів з U-образними сердечниками, що утворюють 12 полюсів ротора (рис. 5.15, а, б).

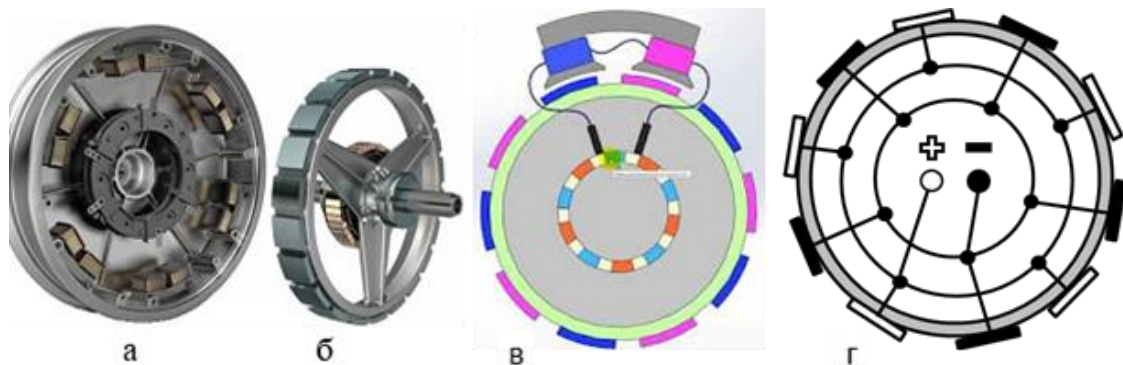


Рис.5.15. Устрій мотор-колеса Шкондіна:

а – роторна частина; б – статорна частина; в – фазування полюсів;
г – підключення пластин статорного колектору

Таким чином, в ступичному двигуні Шкондіна якірні обмотки розміщені на роторі, а магніти збудження на статорі. При обертанні ротора, в його обмотки через щітко-колекторний вузол подається струм різної полярності. Фазування полюсних котушок ротора і магнітних полюсів статора виконана таким чином, що в певні моменти на співпадаючих полюсах статора і ротора, живлення обмоток відключається, а в інших (незбіжних) полюсах притягання, змінюється на відштовхування (рис. 5.15, в, г). В результаті, створюється обертаючий момент за допомогою, так званого, електромеханічного тригера Шкондіна (статорний колектор). Тригер додатково дозволяє частково рекуперувати енергію з обмоток, які не задіяні в створенні обертаючого моменту і можуть використовуватися як генераторні. Основні переваги: високий ККД; простота конструкції; відносно невисока вартість. До недоліків слід віднести: поганий тепловий режим, складність регулювання швидкості обертання; наявність механічного комутуючого пристрою [67]. Останній недолік усувається в безколекторному варіанті двигуна, де якірні обмотки розміщені на внутрішньому статорі, а

полюсні магніти – на зовнішньому роторі. При цьому, комутацію струмів в обмотках статора виконують електронні ключі на підставі інформації, отриманої від датчиків положення ротора.

Для узгодження параметрів напруги джерел (ТАБ, генератора) і споживачів (електродвигунів) електричної енергії використовуються різні електронні пристрої, поєднані в конструкції блоків перетворювачів напруги (рис. 5.16).



Рис. 5.16. Зовнішній вигляд блоків перетворювачів напруги автомобілів:
а – Toyota Prius II; б – Camry Hybrid SiC; в – Lexus CT 200 h

Окремі *перетворювачі напруги* (джерела вторинної напруги, нерезидентної напруги) електричного приводу побудовані за різними схемними рішеннями (рис. 5.17).

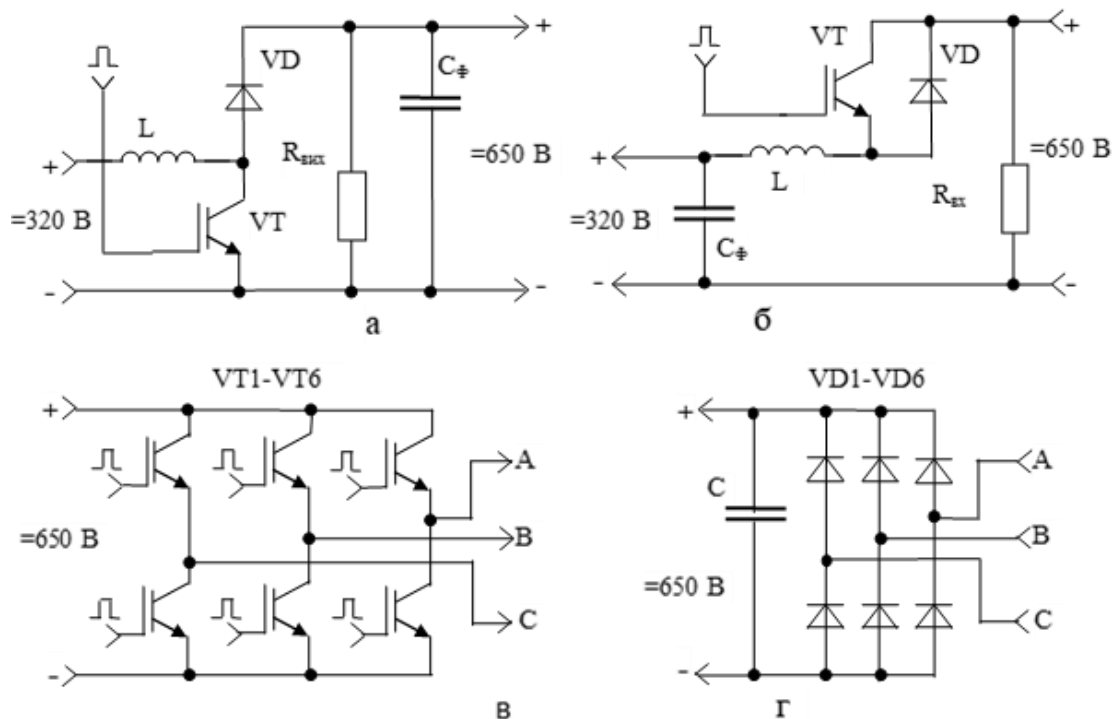


Рис. 5.17. Схеми електричні принципові перетворювачів напруги:
а – підвищення постійної напруги; б – зниження постійної напруги;
в – постійної напруги в трифазну (інвертор);
г – трифазної напруги в постійну (випрямляч)

Підвищення постійної напруги (рис. 5.17, а) реалізується за рахунок комутації струму в реакторі L . Імпульси індукованої напруги подвоєної амплітуди на виході комутатору VT інтегруються ємністю C_F (фільтр, що згладжує) і на виході перетворювача підтримується постійна напруга. Резистор $R_{вих}$ забезпечує розрядження C_F при зниженні напруги, що регулюється в процесі керування. Зниження постійної напруги (рис. 5.17, б) досягають за рахунок підвищення реактивного опору в індуктивному елементі L , шляхом підвищення частоти комутації струму. Резистор $R_{вх}$ узгоджує опір перетворювача з потужністю джерела вхідної напруги. Для перетворення постійної напруги в систему трифазної напруги живлення електричної машини використовується шести-плечовий міст ключів (рис. 5.17, в).

Почергове вмикання ключів за визначеним алгоритмом дозволяє отримати певну послідовність імпульсів напруги в кожній фазі, які зсунуті одне до одного за часом на третину періоду (фази зсунуті на 120°). Зворотне перетворення напруги (трифазної в постійну) реалізують на трифазному випрямлячі побудованому за схемою Лаврентьєва (рис. 5.17, г).

Для перетворювання електричної енергії в обертовий момент і навпаки використовуються електричні машини подвійного призначення. Найбільш ефективними перетворювачами, в цьому плані, є вентильні трифазні електричні машини, які характеризуються високими питомими показниками (розвивають високу потужність на валу при невеликих габаритних розмірах і масі, мають значну перевантажувальну здатність).

Система керування організовує такі процеси:

- моніторинг використовуваної енергії;
- керування рекуперацією енергії гальмування;
- оцінку рівня заряду ТАБ;
- керування динамікою руху;
- забезпечення необхідного режиму руху;
- регулювання тяги;
- керування напругою.

5.3. Застосування вентильних електричних машин

Основні вимоги до системи керування електроприводом (ЕП), відповідають режимам руху автомобіля:

- плавна зміна швидкості;
- автоматична підтримка встановленої швидкості;
- плавне керування тяговим і гальмівним моментом;
- автоматичне обмеження максимального моменту і потужності;
- обмеження зарядного струму ТАБ;
- можливість руху в режимі накату з подальшим плавним розгоном або електричним гальмуванням.

Функціонально системи вентильного електродвигуна (ВЕД) складаються з електричної машини (об'єкта керування) з координатним датчиком (зворотним зв'язком), частотного перетворювача напруги (системи керування) і силових кіл (виконавчих пристроїв). Виходячи з цього, вентильні системи керування можна розрізняти за загальними класифікаційними ознаками:

- типом керованого двигуна (ДПС, синхронний, асинхронний);
- родом струму первинного джерела напруги;
- методом керування (скалярний, векторний);
- видом датчика зворотного зв'язку (положення ротора або миттєвих значень струму в фазах).

На борту автомобіля первинним джерелом напруги є ТАБ постійного струму, тому застосування ДПС вимагає мінімальних витрат на реалізацію системи керування (пряме або адаптивне ШІМ-регулювання). Однак, зважаючи на малу питому потужність і надійність (наявність щітково-колекторного вузла), ДПС значно поступаються машинам змінного струму. Вентильні системи синхронних і асинхронних двигунів також розрізняють за ознакою напруги живлення – постійного струму BLDC (Brush Less DC) і змінного РМАС (Permanent Magnet AC) струму. На автомобілі застосовуються системи першої групи.

Метод керування вентильними машинами змінного струму визначає алгоритм функціонування частотного перетворювача системи керування [1, 68].

Скалярний метод керування полягає у підтримці постійного співвідношення між значеннями напруги і частоти напруги живлення машини в усьому робочому діапазоні швидкостей. При цьому, сила струму в обмотках, а отже й обертаючий момент на валу, залишаються незмінними. Така система проста в реалізації, але має недоліки:

- неможливо реалізувати систему керування асинхронним двигуном при різкому збільшенні навантаження без датчиків кутового положення ротору;

- система керування швидкістю з датчиком зворотного зв'язку під навантаженням синхронного двигуна має низьку точність і може зовсім вийти з синхронізму;

- неможливо одночасно керувати і моментом, і швидкістю.

Векторне керування на відміну від скалярного, дозволяє незалежно і без затримки керувати швидкістю обертання і моментом на валу двигуна. При цьому, крім зазначених параметрів, необхідно керувати ще й фазою напруги живлення (контролювати значення і кут просторового вектору) [1, 69]. Отримання обертаючого магнітного поля передбачає перехід від параметрів напруги до параметрів струму в фазах, залежно від навантаження двигуна, за допомогою перетворювача координат. Обертова система координат фазних струмів створює максимальний обертаючий момент двигуна, коли вектор потоку фази по відношенню до вектору потоку ротора (магніту) зсунутий на 90° . Векторне керування реалізується декількома способами:

- поле-орієнтоване керування;
- керування моментом з просторово-векторною модуляцією потоку;
- пряме керування моментом з таблицею вмикання;
- адаптивне пряме керування моментом;
- пряме керування моментом з ШІМ-модуляцією;
- пряме самостійне керування;

Для реалізації алгоритму керування ВЕД, який живиться від мережі постійної напруги, потрібна інформація про поточне положення і частоту обертання ротора машини (зворотний зв'язок). Цю інформацію отримують на підставі сигналів датчиків кутового положення ротора (ДКІР) або миттєвого значення струмів в фазах (ДМЗС).

У якості датчиків положення ротора застосовуються аналогові і цифрові датчики різного принципу побудови і конструктивного виконання (рис. 5.18).

Тахогенератори трифазного змінного струму зі збудженням від постійних магнітів (рис. 5.18, а) встановлюються в конструкції синхронної машини.



Рис. 5.18. Конструкція і устрій датчиків системи ВЕД:

а – генераторного типу; б, в – трансформаторного типу; г – ансамбль Холла;
д – кодуєний диск енкодеру; е – вимірювальна частина енкодеру; ж – збірка енкодеру; и...м – датчики струму різного виконання

Сигнал електромеханічного датчика моделює фазні напруги, що підводяться до синхронної машини і несе інформацію про кутове положення ротора (миттєві значення напруги) і частоту обертання (частота фазної напруги) двигуна при його стаціонарному обертанні. Недоліки: відсутність сигналу (інформації про стартовий положення ротора) на момент початку руху; застосовується тільки для синхронних двигунів; неадекватність сигналу при динамічних навантаженнях; необхідність перетворення сигналу до цифрового виду і доопрацювання конструкції базової машини.

Датчик синхронізуючих сигналів трансформаторного типу на статорі має три обмотки (збудження і дві вимірювальні). Вимірювальні (вторинні) котушки зсунені відносно одна одної на 90 електричних градусів (рис. 5.18, в). На роторі датчика встановлений сердечник еліпсоїдальної форми. На первинну котушку збудження подається напруга змінного струму несучої частоти, яка трансформується у вимірювальні обмотки з різним коефіцієнтом передачі, залежно від положення ротора (сердечника).

При обертанні ротора, сигнали у вимірювальних обмотках модулюються за амплітудою зі зсувом на 90 електричних градусів. Таким

чином, на підставі двох синусоїдальних сигналів ідентифікується не тільки поточне положення, а й напрямок обертання ротора. Основна перевага модулюючого трансформатора перед датчиком генераторного типу, це наявність інформаційного сигналу в нерухомому (стартовому) стані тягового двигуна.

Ансамбль Холла складається з набору цифрових датчиків Холла, розташованих на статорі, з певними кутовими зсувом, і роторного диска з пластинами, які екранують магнітний потік або які є постійними магнітами (рис. 5.18, г). При обертанні диска, цифровий сигнал формується датчиком, розміщення якого відповідає кутовому положенню ротора двигуна. Основна перевага – отримання сигналу в цифровому вигляді при обертанні ротора і стартовому положенні.

Енкодери (оптичні, магнітні, ємнісні) містять кодуєчий диск на роторі (рис. 5.18, д) і вимірювальний вузол на статорі (рис. 5.18, е). Зазвичай, конструкція датчика має закінчений вигляд (рис. 5.18, ж). Основна перевага – отримання сигналу у вигляді двійкового коду з високою роздільною здатністю, недолік – висока вартість.

Безконтактні датчики струму побудовані на базі лінійних мікросхем Холла мають гальванічне безпосереднє (рис. 5.18, и, к) або безконтактне (рис. 5.18, л, м) підключення до вимірювальної лінії. На відміну від розглянутих, датчики струму встановлюються не в конструкції електричної машини, а монтуються в блоці силової електроніки (система без датчиків). Спеціальні датчики мають вбудований АЦП. Інформація з датчиків струму фаз дозволять значно спростити алгоритм керування статорними обмотками асинхронного двигуна.

Для прикладу, розглянемо структурну схему системи вентиляного синхронного двигуна (ВЕД), яка складається з синхронної машини СД з координатним датчиком положення ротора ДПР, контролера електричної машини КЕМ і силових кіл. Сигнал ДПР одночасно несе інформацію і про частоту обертання ротора синхронної машини ДЧО (рис. 5.19).

Швидкісний режим ВЕД задається сигналом датчика положення акселератора ДПА (електронна псевдопедаль). На момент початку руху або при стаціонарному швидкісному режимі, перетворювач координат обчислює оптимальні фазо-часові параметри фазних струмів на підставі інформації, отриманої від датчика ДПР і перетворювача фаз.

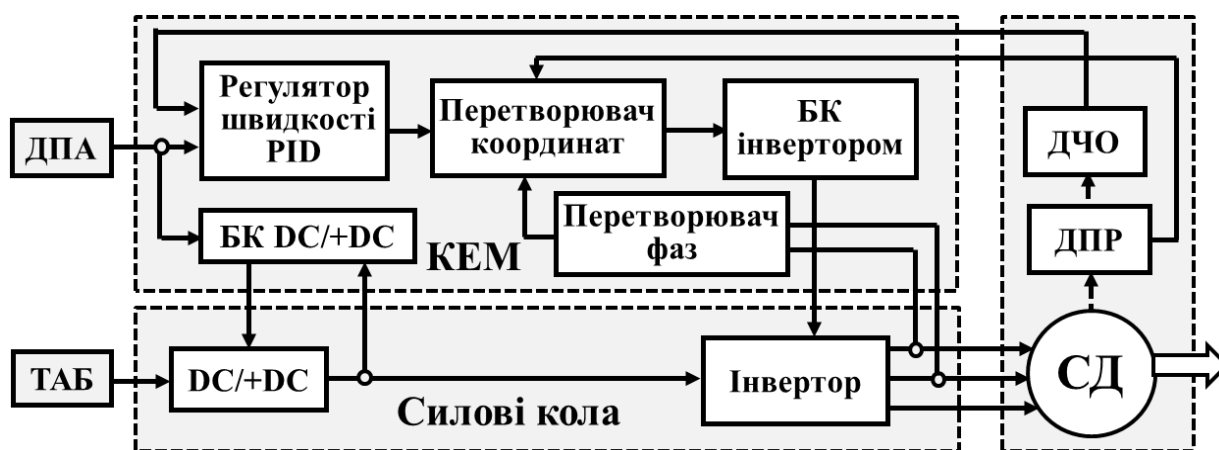


Рис. 5.19. Структурна схема системи вентильної синхронної машини

Блок керування інвертором, згідно з отриманими даними, формує послідовність і шпаруватість надходження адресних імпульсів для керування силовими ключами інвертора.

Силові кола інвертора комутують струми фазних обмоток синхронного двигуна СД під напругою джерела живлення. Для узгодження номінальної напруги ТАБ з робочою напругою двигуна використовується перетворювач, який підвищує постійну напругу DC/+DC. Для стабілізації обраного швидкісного режиму використовується PID-регулятор зі зворотним зв'язком по сигналу датчика частоти обертання ДЧО ротора електричної машини.

У динамічних режимах, зміна частоти обертання під заданим навантаженням двигуна, можна досягти двома способами – зміною напруги на виході DC/+DC або зміною середнього значення струму за допомогою ШІМ-регулювання в блоці керування інвертором. У першому випадку, регулюється частота або шпаруватість імпульсів керування ключем перетворювача DC/+DC, в другому, – шпаруватість імпульсів насічки сигналів керування ключами інвертора.

Система керування вентильним асинхронним двигуном будується аналогічним чином, але з урахуванням того, що вектор магнітного поля ротора (потокосцеплення) визначається на підставі параметрів обертового поля статора і розподілених параметрів короткозамкнутої обмотки ротора. Для обліку цих факторів, проводиться додатковий перерахунок координатних величин через похідні функції фазних струмів.

Оборотність синхронної машини використовується для зарядки ТАБ за рахунок рекуперативної енергії гальмування. Режими ЕП у

статусах мотора «М» або генератора «G» активізуються натисканням педалей відповідно акселератора або гальма (рис. 5.20).

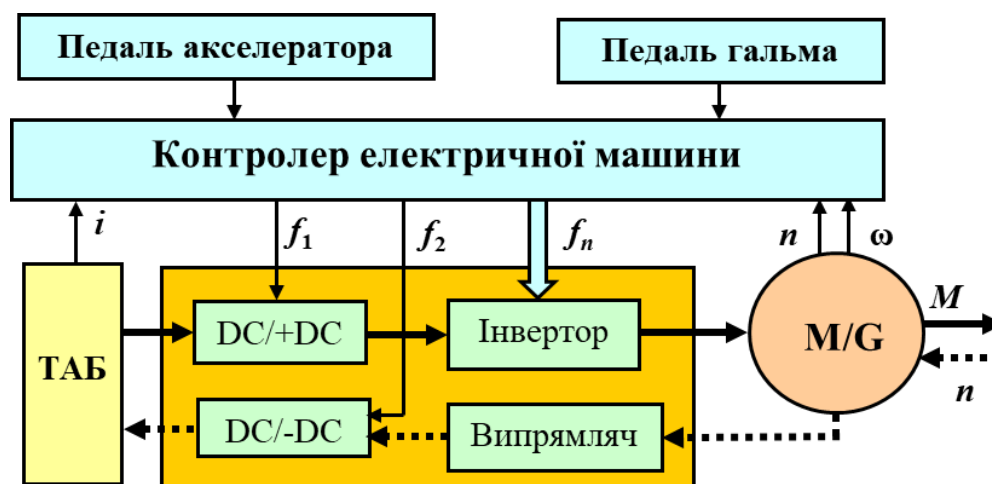


Рис. 5.20. Функціональна схема електроприводу з оборотною синхронною машиною

У режимі мотора, потужність передається описаним способом (суцільні стрілки). У режимі генератора (пунктирні стрілки), використовується випрямляч і понижуючий перетворювач DC/-DC. У КЕМ надходить інформація про частоту обертання ротора генератора n і про рівень зарядного струму i , батареї ТАБ. На підставі цих сигналів, КЕМ регулює коефіцієнт передачі перетворювача DC/-DC зміною частоти імпульсів керування f_2 , обмежуючи струм заряду на допустимому рівні. У реальних системах контролюється температура силових елементів для визначення їхнього електричного навантаження і ступеню зарядженості ТАБ.

Синтез окремих перетворювачів напруги різного призначення дозволяє поєднати їх в блок силових кіл, який керується контролером КЕМ на підставі сигналів з датчиків положення педалі акселератора (ДПА) і гальма (ДПГ), а також кутового положення ротору ГВ електричної машини МГ (рис. 5.21).

На схемі (рис. 5.21) позначені елементи окремих перетворювачів напруги: VT1...VT6 – транзисторні ключі інвертора CD/ЗАС; VD1...VD6 – діоди випрямляча ЗАС/CD; VT7 – транзистор комутатора перетворювача DC/-DC; VT8 – транзистор комутатора перетворювача DC/+DC; VD7, VD8 – діоди складання імпульсної напруги (DC/+DC); C1 – згладжуючий фільтр; C2 – інтегруюча ємність; L – дросельний реактор; R – розрядний опір.

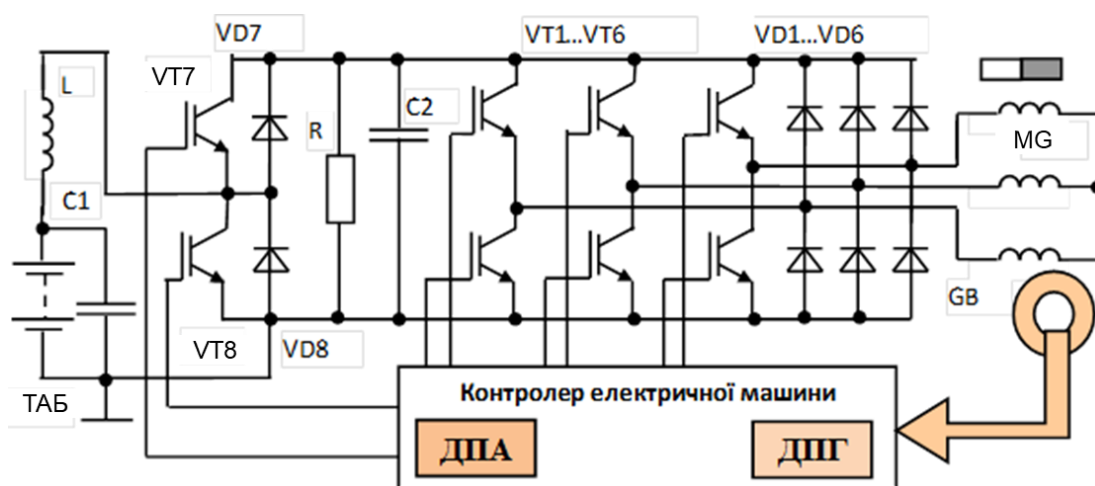


Рис. 5.21. Схема електрична принципова силових кіл електроприводу з використанням оборотної машини

5.4. Структура електричних гібридних силових установок

Під електричним гібридом в повному сенсі слова розуміють автомобіль, привід якого здійснюється від ДВЗ і тягового електродвигуна. На сучасному етапі, електричні гібриди класифікують за кількома ознаками [2, 70] (рис. 5.22).



Рис. 5.22. Класифікація гібридів за загальними ознаками

Залежно від того, яку роль в силовій установці грає електрична машина, гібриди поділяють на пасивні мікрогібриди (assisted hybrids), помірні або м'які (mild hybrids) і повні (full hybrids) гібриди. У перших,

електрична машина реалізує системи Start Stop і рекуперації енергії гальмування, у других, електромотор служить помічником ДВЗ в режимах розгону і прискорення, у третіх, – електропривод забезпечує обмежений автономний режим руху на електротязі.

У *мікро-гібридах*, зазвичай, використовується резидентна напруга 12 В, а електрична машина (генератор) має малу потужність.

М'який гібрид з невеликою (за запасом енергії) АКБ і електродвигун обмеженої потужності, який включається в роботу при розгоні автомобіля поряд з роботою основного ДВЗ. М'які гібриди можуть використовувати системи живлення електроприводу підвищеної (36 В, 42 В) або високої (300...700 В) напруги. При цьому, композиція гібридного приводу передбачає паралельне або послідовне додавання крутних моментів альтернативних двигунів (рис. 5.23).

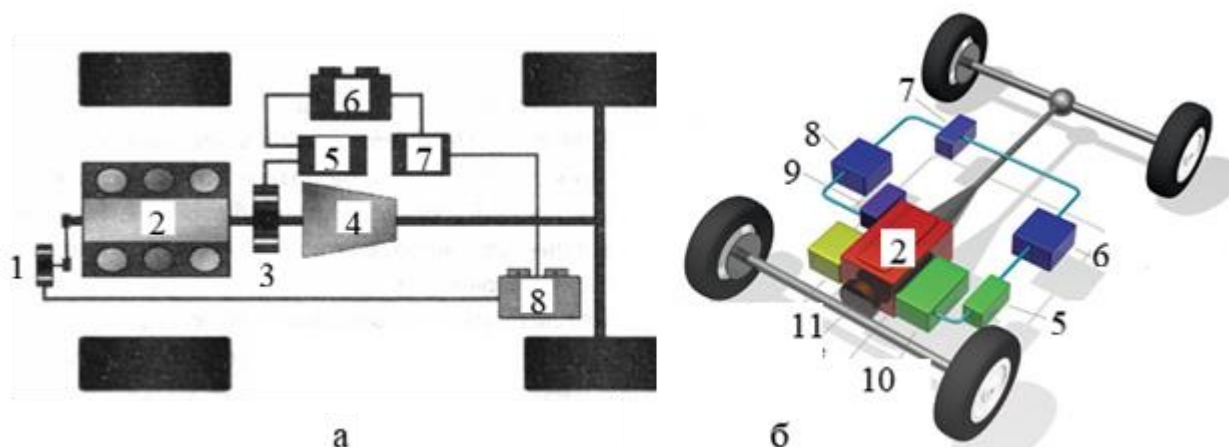


Рис. 5.23. Композиції м'яких гібридів: а – послідовна; б – паралельна

На рис. 5.23, б позначено: 1 – генератор (12 В); 2 – ДВЗ; 3 – електродвигун; 4 – АКП; 5 – модуль силових електронік; 6 – ТАБ; 7 – DC/DC-перетворювач; 8 – АКБ; 9 – стартер; 10 – оборотна електрична машина; 11 – електромагнітне зчеплення.

Для *повного гібриду* характерні висока напруга живлення та значна потужність тягового електродвигуна. Для цього, в системі використовується потужна ТАБ. У повних гібридах для збільшення автономного пробігу на електротязі використовуються пристрої заряду ТАБ від зовнішніх джерел. Такі автомобілі отримали назву – «Електричний гібрид, який заряджається із-зовні» PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

Можлива компромісна схема активної системи Start Stop, в якій електрична тяга використовується тільки в режимі короточасних переміщень на малій швидкості (рух в пробці) за рахунок електростартера. Основний недолік такого рішення, це значне енергоспоживання електродвигуна стартера у пускових режимах. Проблема може вирішуватися шляхом застосування електричних вентильних або пневматичних стартерних машин. В останньому випадку, машина має максимальний ККД і обертаючий момент на мінімальних швидкостях переміщення автомобіля. З позиції структури і способу передачі потужності на колеса автомобіля, розрізняють три конфігурації гібридних систем – послідовну, паралельну і змішану (комбіновану).

Послідовний гібрид – конфігурація, в якій ДВЗ приводить в дію тільки генератор «G» (рис. 5.24, а).

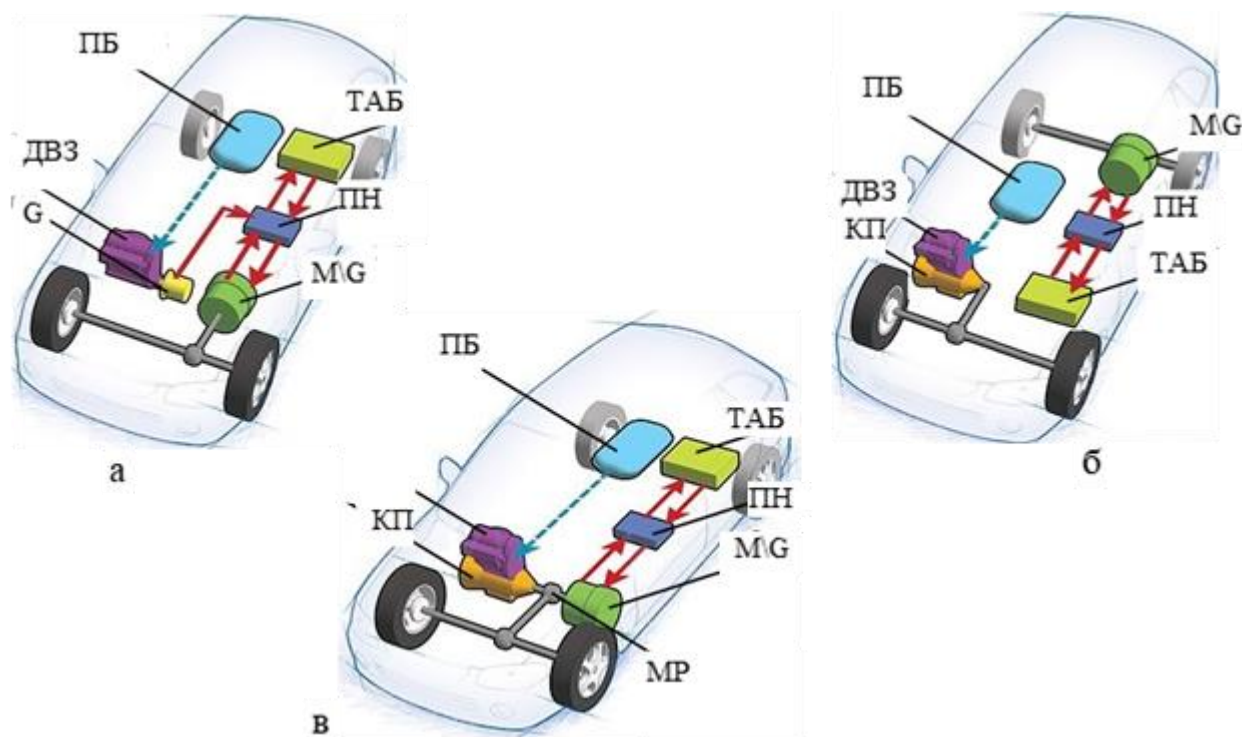


Рис. 5.24. Схеми включення силових агрегатів ГСУ:
а – послідовна; б – паралельна; в – послідовно-паралельна

У цій схемі ДВЗ обертає генератор G, працюючи в режимі максимальної економії палива. Електроенергія, утворена генератором через модуль керування (перетворювач напруги ПН), надходить або на тяговий електродвигун M/G, або в ТАБ. Електродвигун через трансмісію передає на колеса потрібний обертаючий момент, а в режимі гальмування працює як генератор, заряджаючи ТАБ (режим

рекуперації енергії гальмування). Такі гібриди маркуються аббревіатурою REEV (Range-Extended Electric Vehicle) або EREV (Extended-Range Electric Vehicle). Плюси цієї схеми: постійна робота ДВЗ в економічному режимі, простота і відсутність складної трансмісії. З мінусів слід відзначити: малий ККД механізму передачі енергії від ДВЗ до ведучих коліс автомобіля; неможливість домогтися складення потужностей альтернативних двигунів приводу; неможливість руху в разі повної розрядки ТАБ (потрібен певний час для зарядження від працюючого ДВЗ).

Паралельна конфігурація передбачає підключення альтернативних двигунів на різні осі коліс (рис. 5.24, б). Електроенергія, яка виробляється в рекуперативному режимі машиною М/Г поступає на підзарядку ТАБ. Для такої схеми не потрібна специфічна трансмісія, але унеможливорюється зарядження ТАБ від ДВЗ. Електродвигун, при цьому, живиться від ТАБ. Оскільки обертаючий момент від первинних валів альтернативних двигунів може бути напряду переданий на колеса (окремо від кожного або сумарний), коефіцієнт ККД такого гібрида вище, а енерговитрати – нижче. Однак, з позицій паливо-екологічних показників ДВЗ паралельна схема поступається послідовній (ДВЗ не може весь час працювати в економічному режимі). Додамо, що в окремих композиціях паралельної схеми, електродвигун може розташовуватися безпосередньо на колінчастому валу ДВЗ або підключатися до трансмісії окремим зчепленням.

Послідовно-паралельна (комбінована) конфігурація передбачає механічний зв'язок ДВЗ і тягового електродвигуна з ведучими колесами автомобіля через механізм розподілу МР (рис. 5.24, в). Така конфігурація поєднує у собі переваги обох вищезгаданих схем. Залежно від умов руху, автомобіль може рухатися або тільки на електротязі, або тільки на ДВЗ, або енергію руху колеса можуть отримувати і від ДВЗ, і від електродвигуна одночасно. Таким чином, єдиним недоліком комбінованої схеми є складність та вартість системи керування і трансмісії.

Комбінований гібрид застосовується і в повнопривідних моделях. При цьому, колеса передньої осі приводяться в дію комбінованим приводом, як у передньопривідних моделей, а для приводу коліс задньої осі використовується окремий тяговий електродвигун. У композиції змішаного гібрида Toyota Prius немає

традиційної КПП. Розподіл обертаючого моменту здійснюють планетарні передачі у структурі гібридної коробки передач (ГКП) [71].

Більш ретельно розглянемо функціональну структуру електричної частини ГСУ з однією оборотною електричною машиною інтегрованою у ГКП. Центральним блоком системи керування такої ГСУ є контролер кола високої напруги (КВН). Контролер здійснює розподіл потужності по силових агрегатах установки, забезпечуючи оптимальне використання потужності електроприводу та ДВЗ для утворення необхідного обертаючого моменту на колесах автомобіля під час його прискорення та рекуперації енергії при гальмуванні.

Електромеханічна частина силової установки складається з гібридної коробки передач (ГКП), блоку перетворювачів напруги (БПН) та блоку високовольної батареї БВБ (рис. 5.25).

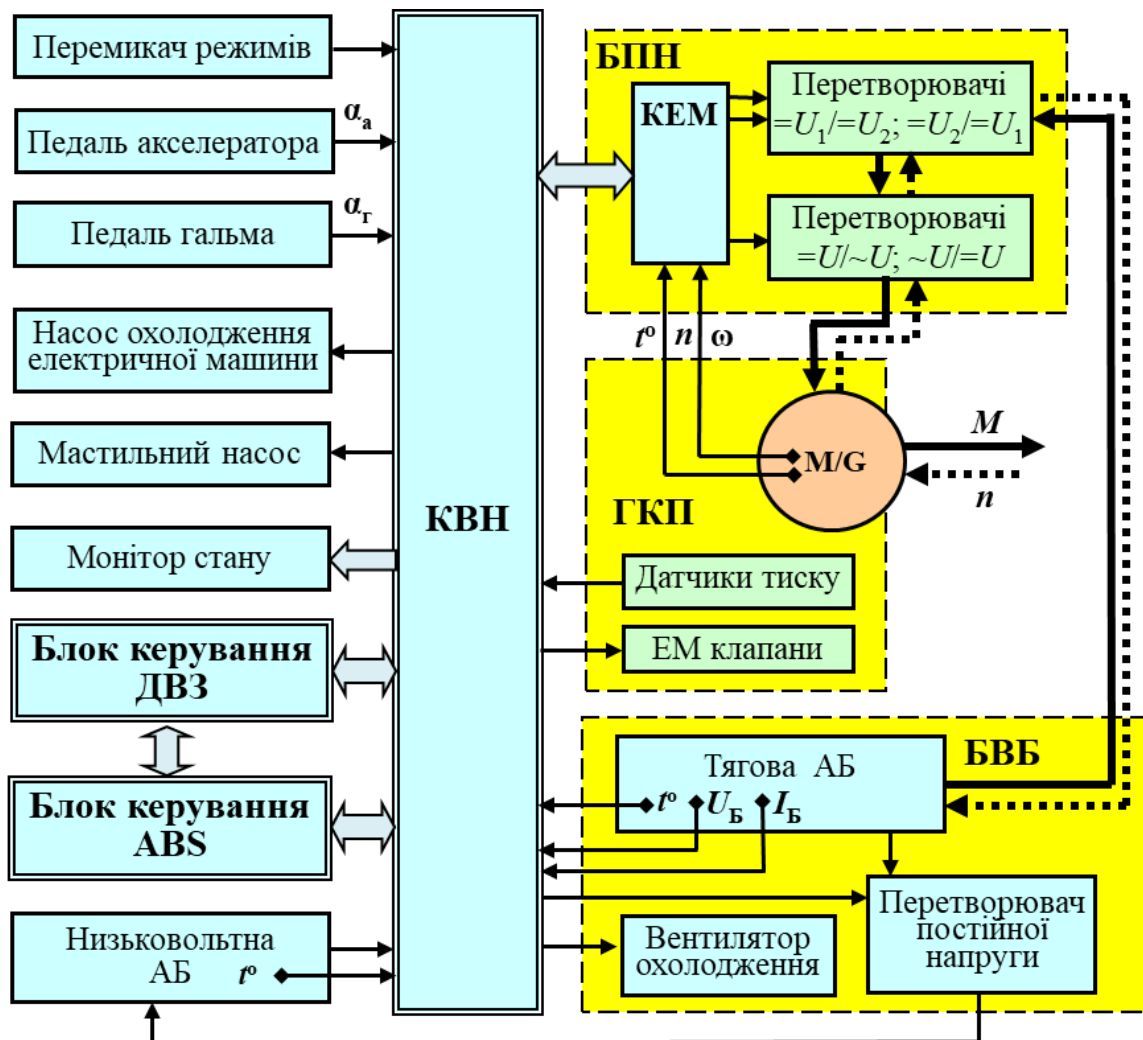


Рис. 5.25. Схема електрична структурна системи керування ГСУ

Гібридна коробка передач являє електромеханічну трансмісію потужності подвійної дії. Вентильна машина М/Г, яка входить до складу ГКП функціонує в режимах (статусах) двигуна «М» або генератора «Г» залежно від дій водія та дорожньої ситуації.

В статусі «М» електрична потужність, що підводиться до електродвигуна від тягової батареї (ТАБ) перетворюється в БПН за допомогою DC/DC перетворювача підвищеної напруги ($=U_1/=U_2$) та трьохфазного інвертора ($=U/\sim U$). При цьому, робочі режими перетворювачів напруги (рівень напруги, значення струму і частота комутації інвертора) та відповідно і електродвигуна (обертовий момент і частота обертання) визначаються на підставі сигналів датчиків положення педалі акселератора α_a та кутового положення валу машини ω , які надходять в контролер електричної машини КЕМ.

Під час рекуперації енергії в режимі «Г» відбувається зворотне перетворення механічної потужності обертання ротору електричного генератора в електричну потужність зарядження ТАБ.

В цьому статусі, в силовому колі ЕП задіяні – трифазний випрямляч ($\sim U/=U$) та DC/DC перетворювач пониженої напруги ($=U_2/=U_1$). Режим зарядження ВАБ на кожному мить процесу гальмування розраховується в КВН на підставі інформації, яка надходить з датчиків системи ABS та педалі гальм α_r .

Якщо, режим руху автомобіля та дії водія зумовлюють активізацію гібридного приводу, контролер КВН визначає їздовий статус автомобіля і здійснює регулювання моментів ДВЗ і тягового електродвигуна з урахуванням рівня зарядки високовольної батареї (напруги U_B та струму I_B у колі заряду ТАБ) і її температури t° . Різниця між потрібною потужністю руху та потужністю ДВЗ компенсується потужністю електричного двигуна.

Додатково може використовуватись інформація про температурний стан електричної машини, інвертора і випрямляча яка непрямо характеризує технічний стан цих агрегатів. При цьому, КВН керує вентилятором системи охолодження ТАБ і зарядженням низьковольної батареї відповідно до її температури, використовуючи перетворювач постійної напруги.

Для підвищення їздових, енергетичних та екологічних показників в автомобілях Toyota Prius застосовується ГСУ з двома електричними машинами, яка включає: ДВЗ, електричний стартер-генератор, тяговий електричний двигун, безступеневу коробку передач [2, 71].

Сила тяги від ДВЗ розділяється на два потоки планетарним механізмом один з вихідних валів якого, пов'язаний з електричним двигуном і колесами, а інший з генератором. Обидва двигуна обертають через редуктор передні ведучі колеса. (рис. 5.26, а).

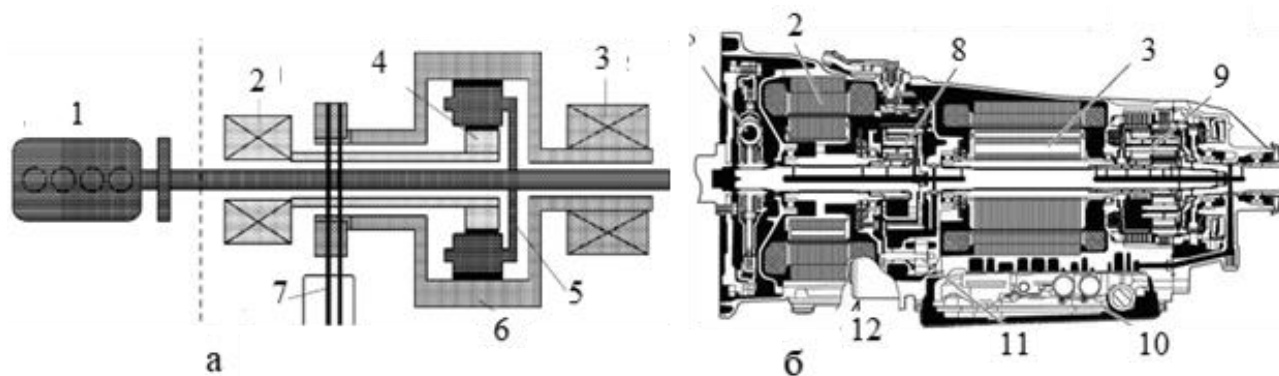


Рис. 5.26. Гібридний силовий агрегат з двома електричними машинами:
а – кінематична схема приводу на передню вісь; б – устрій електромеханічної трансмісії GS450h з приводом на задню вісь

На рис. 5.26 позначено: 1 – ДВЗ з зчепленням; 2, 3 – електричні машини MG1, MG2; 4 – сонячна шестерня; 5 – водило; 6 – коронна шестерня; 7 – ланцюгова передача на диференціал передньої осі; 8 – планетарний дільник потужності; 9 – двоступеневий планетарний понижуючий редуктор з двома гідравлічними гальмами; 10 – клапанна коробка; 11 – мастильний насос з механічним приводом; 12 – мастильний насос з електричним приводом.

Електромагнітні клапани (ЕК) гідравлічної коробки керують тиском робочої рідини і перемикають магістралі, активізуючи приводи гальмівних механізмів планетарної передачі.

В трансмісії з приводом на задню вісь використовується двоступеневий планетарний редуктор з електрогідравлічним керуванням (рис. 5.26, б), який автоматично, за допомогою гальмівних пристроїв, змінює передавальне відношення підключення електричної машини MG2. Обертовий момент від MG2 передається через задню сонячну шестерню на привід задніх коліс.

Тиск у гідравлічній системі ГКП забезпечує масляний насос з механічним приводом. Насос з електричним приводом дублює функцію механічного при непрацюючому ДВЗ. Додатковий електронасос забезпечує циркуляцію рідини для охолодження MG1 і MG2 за заданим алгоритмом. Контроль роботи ГКП здійснюється датчиками: частоти

обертання вхідного валу; температури охолоджуючої рідини; тиску масла в трубопроводах гідроелектричного блоку керування.

Перемикач режимів (селектор СБР) дозволяє обрати один з режимів керування коробкою передач: PWR (Power – динамічний), Hybrid (гібридний нормальний), або SNOW (гібридний зимовий). Призначення та функціонування інших компонентів системи керування ГСУ аналогічно системі з однією машиною (див. рис. 5.25).

Алгоритми функціонування ГСУ (тягового контролю, рекуперативного гальмування, розподілу потужності) системи з двома оборотними електричними машинами побудовані відповідно до їх статусів в експлуатаційних режимах. При цьому стратегія керування зводиться до виконання певних правил:

- чим менше швидкість автомобіля, тим більше задіяна рушійна сила від електричного двигуна;
- при гальмуванні пріоритет надається рекуперативній системі;
- ефективне використання потужності силових агрегатів за рахунок перерозподілу енергетичних потоків між ними.

Реалізація алгоритму функціонування розподільника потужності ГСУ в транспортних режимах полягає в наступному. Автомобіль вирушає з місця за рахунок тяги електричного двигуна MG2. Якщо, заряду ТАБ для цього не вистачає, то включається стартер MG1, який запускає ДВЗ. При цьому, MG1 в режимі генератора здійснює заряд ТАБ. В гібридному режимі руху, тягове зусилля від ДВЗ передається через планетарні механізми частково на привід коліс, частково на MG1 для генерації енергії для живлення двигуна MG2 і створення додаткового тягового зусилля. Під час прискорення поряд з потужністю ДВЗ, ТАБ віддає енергію на MG2 для отримання додаткового тягового зусилля. При гальмуванні під ухил, ДВЗ вимикається, енергія гальмування автомобіля через MG2 акумулюється в ТАБ. Для руху заднім ходом використовується двигун MG2.

На рис. 5.27, для прикладу, показано схему силових кіл силової установки THS II, в якій застосовані ТАБ з номінальною напругою 288 В та електричні машини з номінальною напругою 650 В.

Обидві машини MG1 і MG2 підключені через ідентичні схеми інверторів та випрямлячів. Контролер КВН отримує команди з органів керування (ДПА, ДПГ, СБР) та контролює режими електричних машин (КЕМ) та заряду низьковольтної батареї НАБ.

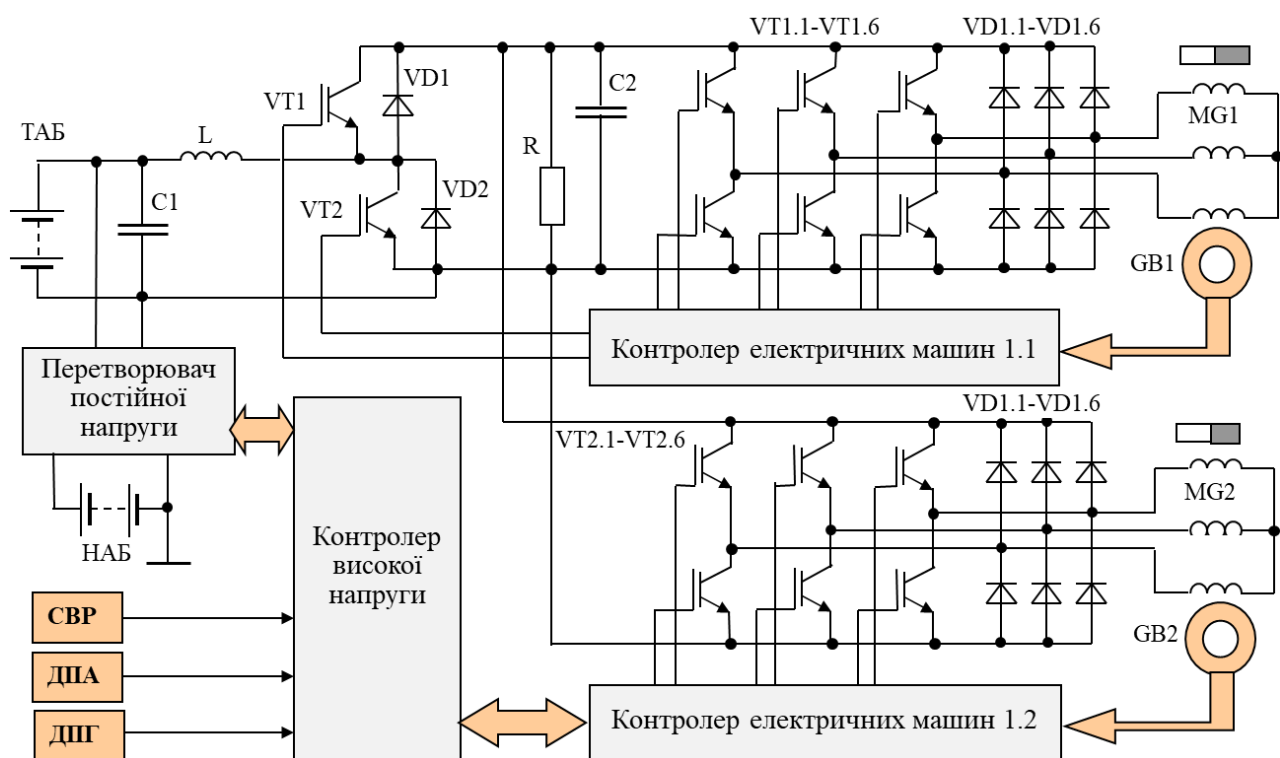


Рис. 5.27. Схема електрична принципова силових кіл приводу ЕСУ з двома електричними машинами

По інформаційній шині від контролера КВН на контролер електричних машин КЕМ надходить інформація про енергетичний стан джерел напруги (зарядженість ТАБ, частота обертання генератора) та потрібний режим руху автомобіля (ДПА, ДПГ, СВР). З КЕМ по сигнальним колам надходять відповідні імпульси керування ключами перетворювачів постійної напруги та інверторів.

Задні колеса і електрична машина MG2 зв'язані карданним валом і не розділені зчепленням. Щоб припинити передачу обертового моменту на задні колеса при нейтральному положенні селектора, вимикаються всі силові транзистори, які керують роботою електричних машин. В результаті, MG1 і MG2 не спричиняють реакції на трансмісію.

Аналізуючи функціонування ЕСУ в транспортних режимах, можна упорядкувати агрегати, що утворюють ланцюг передачі енергії за п'ятьма транспортними режимами функціонування ЕСУ (рис. 5.28).

На схемах рис. 5.28 позначено механічні ланки передачі потужності: К – колесо, СГ – система гальмування, КП1/КП2 – трансмісія, яка понижує/підвищує.

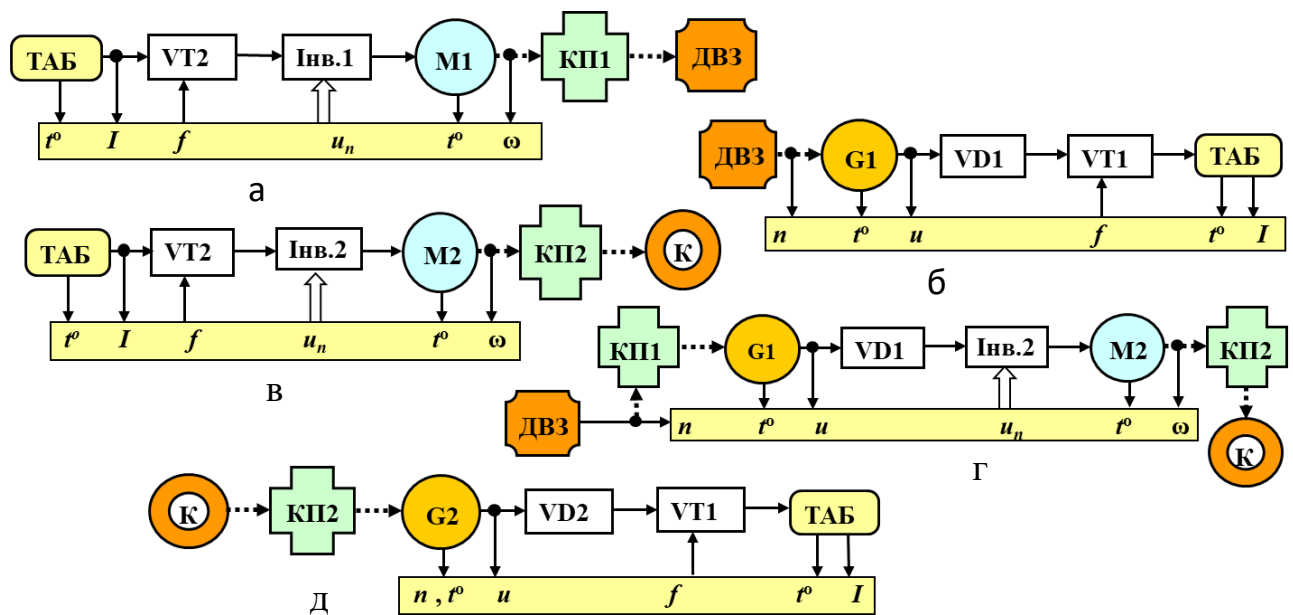


Рис. 5.28. Схеми ланцюгів передачі потужності в ГСУ на режимах:
а – пуску ДВЗ; б – зарядження ТАБ від ДВЗ; в – електроприводу;
г – послідовної роботи ДВЗ і електричних машин; д – рекуперативного
зарядження ТАБ

Електричні ланки: ТАБ – високовольтна тягова АКБ; VT – ключі перетворювачів постійної напруги, VD – випрямлячі; «Інів.» – інвертори. У вимірювальні кола контролерів КВН та КЕМ надходить інформація від елементів силового кола: n – частота обертання; t° – температура агрегатів; u_n – імпульси керування інверторами: u – вихідна напруга; f – частота керуючих імпульсів; I – середнє значення струму у колі заряду батареї; ω – кутове положення роторів електричних машин. Додатково може використовуватись інформація про температурний стан інверторів і випрямлячів, яка непрямо характеризує технічний стан цих елементів.

5.5. Використання пневматичного приводу

Машини на стисненому повітрі набагато дешевше своїх чисто електричних або водневих суперників при приблизно рівних технічних параметрах. До того ж, балони з повітрям мають більший експлуатаційний ресурс, ніж хімічні акумулятори електрики.

До переваг пневматичного приводу можна додати [1, 2, 5, 72, 73]:

- екологічність;
- низька вартість приводу і «палива»;
- можливість заправки автомобіля в домашніх умовах;
- можливість застосування рекуператора енергії.

Основною експлуатаційною перевагою пневмодвигуна (ПНД) є отримання максимального моменту і ККД при русанні (відсутність витрати повітря). У міру розгону, ці показники значно знижуються.

До недоліків пневматичного приводу слід віднести:

- низький ККД на швидкісних режимах (5...7 %) в порівнянні з ДВЗ (18...20 %);
- необхідність в зовнішньому теплообміннику;
- низькі їздові показники пневмомобілів (запас ходу, потужність);
- низька щільність енергії (питома енергоємність).

Для порівняння, повітря під тиском 30 МПа має щільність енергії 50 кВт*год на літр, а звичайний бензин – 9411 кВт*год на літр. Тобто, бензин як паливо ефективніше майже в 200 разів.

Конструкції більшості пневматичних машин здатні працювати і в режимі двигуна і в режимі компресора. Такі оборотні машини мають назву пневмоагрегати (ПНА). Пневматичні двигуни розрізняють за загальними класифікаційними ознаками [1, 2, 5] (рис. 5.29).

В об'ємних пневмодвигунах, механічна робота здійснюється в результаті розширення стисненого повітря в обмеженому об'ємі циліндра машини (використовується потенційна енергія стисненого повітря). У турбінних пневмодвигунах потік повітря впливає на лопатки турбіни (використовується кінетична енергія). В ротаційних конструкціях ПНД у силу часткового перекриття об'єму порожнини відбувається комбіноване перетворення енергії стисненого повітря.



Рис. 5.29. Класифікаційна структура пневматичних моторів

Ротаційні (шиберні) ПНД мають пластинчасту конструкцію ротора 1, який ексцентрично поміщений в циліндричну порожнину статора 2, що має впускний 3 і випускний 4 канали (рис. 5.30).

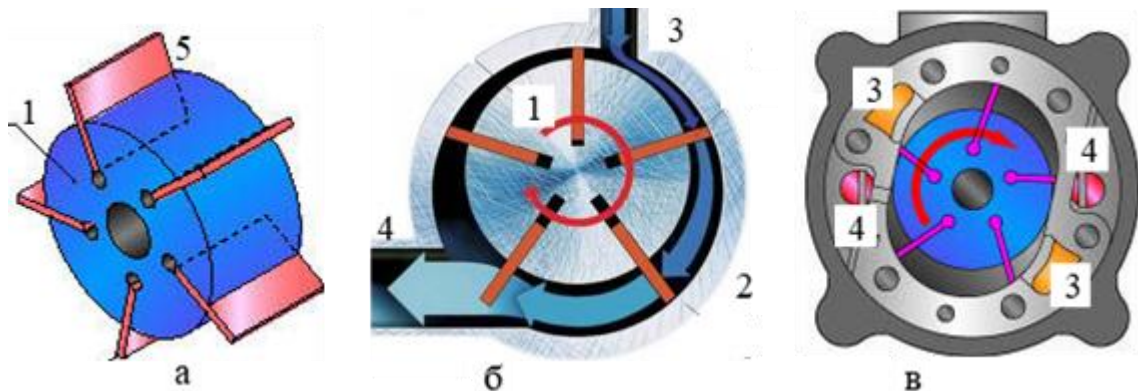


Рис. 5.30. Устрій ротаційних двигунів загального призначення:
а – ротор; б – однокамерний мотор; в – двокамерний мотор

Встановлені на циліндричному роторі 1 пластини (лопатки) 5, що мають пружну конструкцію, утворюють в порожнині статора, камери які обертаються. В них розширюється подане через впускний канал 3, повітря під тиском. Сила притиснення пластин визначається швидкістю обертання ротора (відцентрові сили). Для підвищення питомої потужності, в таких двигунах, використовуються подвійні камери розширення з двома впускними 3 і двома випускними 4 каналами (рис. 5.30, в). Ротаційні двигуни можуть бути виготовлені як в реверсивному, так і нереверсивному виконаннях. Оборотної ротаційні агрегати мають рівноцінні прохідні перетини впускних і випускних каналів.

Основною перевагою ротаційних двигунів є їх відносно малі маса, габарити і вартість. До недоліків слід віднести відсутність гарантованого ущільнення робочого зазору і, як наслідок, зниження ефективності на малих обертах при пуску двигуна, а також гучність при роботі і порівняно швидкий знос пластин.

Поршневі ПНД, за аналогією з ДВЗ, мають ЦПГ 1, 2, КШМ 3, і колінчастий вал 4 (рис. 5.31).

В робочий циліндр стиснене повітря подається розподільним золотниковим механізмом 8, який приводиться в рух від вихідного валу через шестірні 5, 6 і шатун 7 (рис. 5.31, а). Розподільник виконаний таким чином, що приблизно на 5/8 довжини повного ходу поршня порожнина циліндра роз'єднується з впускним каналом. Після відсічення повітря, поршень переміщається внаслідок розширення повітря в замкнутому просторі.

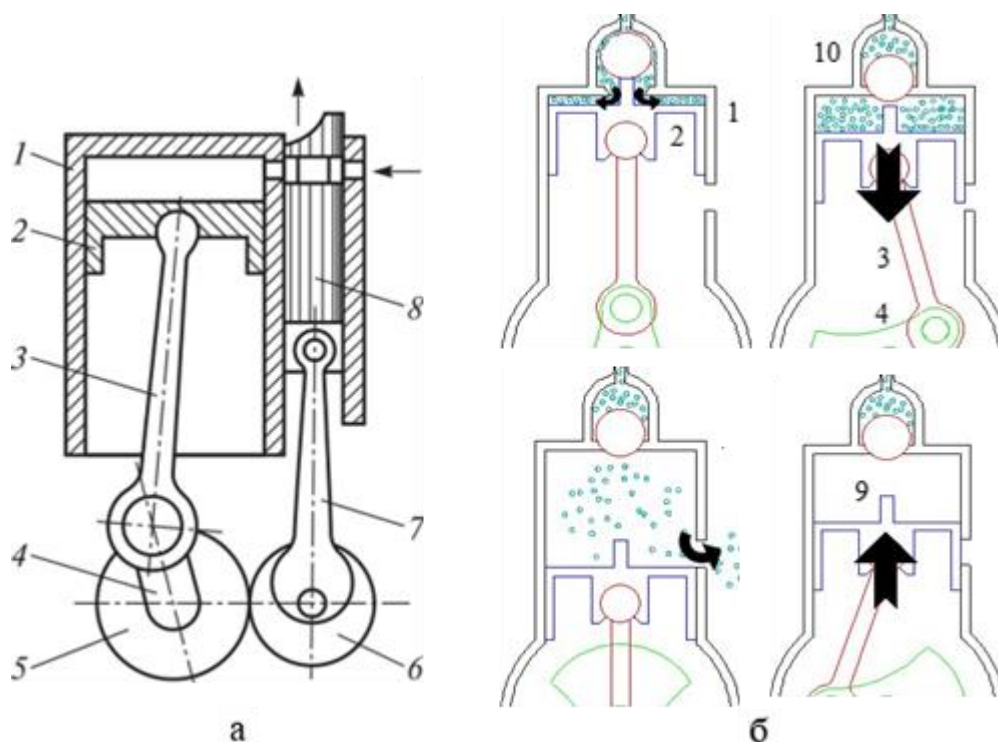


Рис. 5.31. Устрій поршневих пневмодвигунів:
а – з золотниковим клапаном; б – з кульковим клапаном

При зворотному ході поршня, золотник сполучає робочу порожнину з атмосферою. У момент, коли поршень знаходиться на деякій відстані від кінця ходу, золотник перекриває вихідний канал і при подальшому русі поршня відбувається стиснення залишкового повітря. Таким чином, поршневий мотор працює з частковим розширенням стисненого повітря і з частковим стисненням при зворотному ході.

У поршневих двигунах застосовують розподільники двох типів – золотникові і осьові. Багатоциліндрові ПНД будуються аналогічно ДВЗ. Існують мотори з поршнями двосторонньої дії, в яких стиснене повітря підводиться до обох сторін поршня.

У другій схемі, поршень 2 зі штоком 9, впливає на кульковий клапан 10, пропускаючи стиснене повітря в камеру циліндра (рис. 5.31, б). Розширення повітря викликає переміщення поршня. Після випуску повітря, поршень повертається у вихідне положення, за рахунок енергії інерційної маси маховика і колінчастого валу (як в ДВЗ).

Використання зворотних пружини, замість махових мас, дозволяє знизити масогабаритні параметри конструкції двигуна. Однак, при цьому, виникають втрати на стискання пружини, і знижується рівно-

мірність обертання вихідного валу. Поршневі ПНД в порівнянні з ротаційними, мають менші втрати на витік повітря, допускають перевантаження, дозволяють змінювати ступінь наповнення циліндрів.

У мембранній схемі роль поршня виконує еластична мембрана, до якої також прикріплений шток з пружиною. Її переваги: не потрібна висока точність посадки рухомих елементів, не потрібні мастильні матеріали, підвищена герметичність робочої камери. Ступінь еластичності мембрани визначає хід штока. Для перетворення поступального руху штока в обертання ведучого валу в мембранних схемах використовується спеціальний механізм із зачіпним штовхачем і зубчастим колесом.

Шестеренні ПНД мають низьку питому потужність, великі витрати стисненого повітря і низький ККД. Гвинтові і турбінні пневмомотори характеризуються високими швидкостями обертання при мінімальному обертаючому моменті і значною витратою повітря під навантаженням.

Пневматичні двигуни загального призначення, так само як і компресори знайшли широке застосування в інструментарії. На автомобілях, допоміжні пневмоагрегати використовуються у якості компресорів і пневматичних приводів різного призначення. Так, наприклад, для запуску ДВЗ застосовуються пневматичні стартери різних конструкцій (рис. 5.32).



Рис. 5.32. Зовнішній вигляд пневматичних стартерів:
а, б – ротаційного типу; в – турбінного типу

Для отримання достатнього обертаючого моменту на ведучій шестерні, в пневмостартерах використовуються багатоступінчасті і планетарні редуктори. Автомобільні тягові двигуни представлені оригінальними і конвертованими конструкціями.

Для забезпечення реверсу ПНД і оборотних режимів пневмоагрегати, в живильних лініях пневмосистем використовуються некеровані клапани і клапани з механічним, пневматичним або електричним керуванням. Додатково, клапани класифікуються за рядом загальних ознак:

- призначенням (запірні, зворотні, регулюючі, запобіжні, переключаючі, розподільчі);
- конструкції запірного елемента (кулькові, конусні, дискові, золотникові);
- способу керування (прямої дії, пілотні, комбінованої дії, бістабільні);
- числу положень запірного елемента (одно-ходові, двоходові, пропорційні);
- числу вводів, що підключаються (від двох до п'яти).

В клапанах з електричним керуванням, конструкція механізму повернення передбачає одне з двох початкових (знеструмлених) станів запірного елемента – нормально закрите або нормально відкрите.

Щоб реалізувати реверс ПНД, використовуються механічні зворотні клапани і *золотникові клапани-розподільники тиску* (КРТ) з електричним керуванням (рис. 5.33).

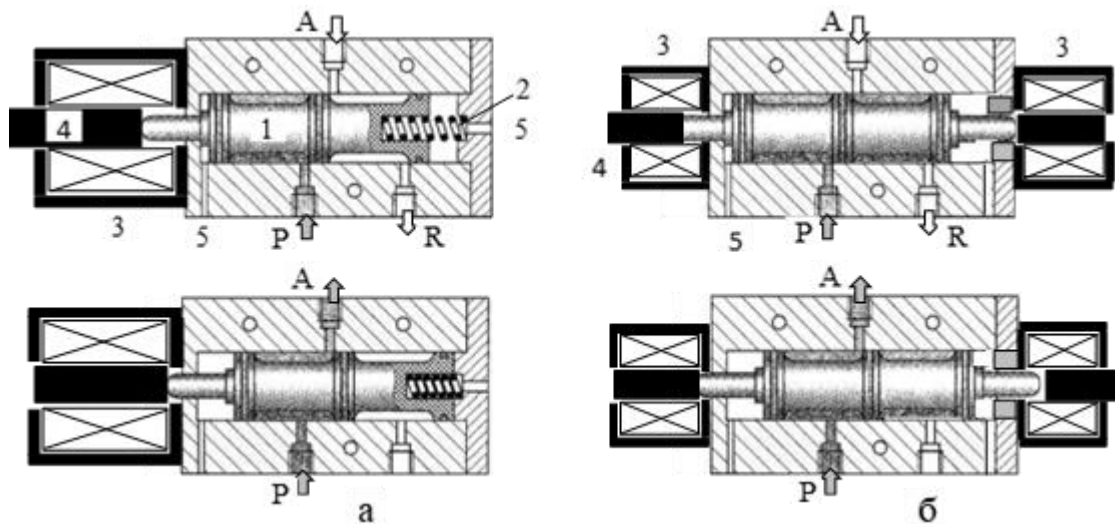


Рис. 1.5.33. Устрій золотникових розподільників тиску:
а – зі зворотною пружиною; б – бістабільний

В золотниковому клапані розподільнику 1, на відміну від клапана осьового затвора, не відбувається протидія тиску, що дозволяє знизити жорсткість зворотної пружини 2, а отже і потужність, що споживається котушкою електромагніту 3 з сердечником 4 (рис. 5.33, а).

Отвори 5 сполучаються з атмосферою, виключаючи опір повітря в замкнутому об'ємі.

У бістабільному клапані розподільнику, золотник переміщається в обидві сторони під дією електромагнітних сил (рис. 5.33, б). Відсутність зворотної пружини і імпульсний режим керування дозволяють значно знизити енергоспоживання електромагнітних вузлів 3, 4, а також підвищити швидкість спрацьовування розподільника.

Керування обертовим моментом і частотою обертання ПНД здійснюється шляхом зміни витрати або тиску повітря на впуску у камери розширення. Зміна цих параметрів проводиться за допомогою регуляторів (редукторів) і модуляторів тиску (рис. 5.34).

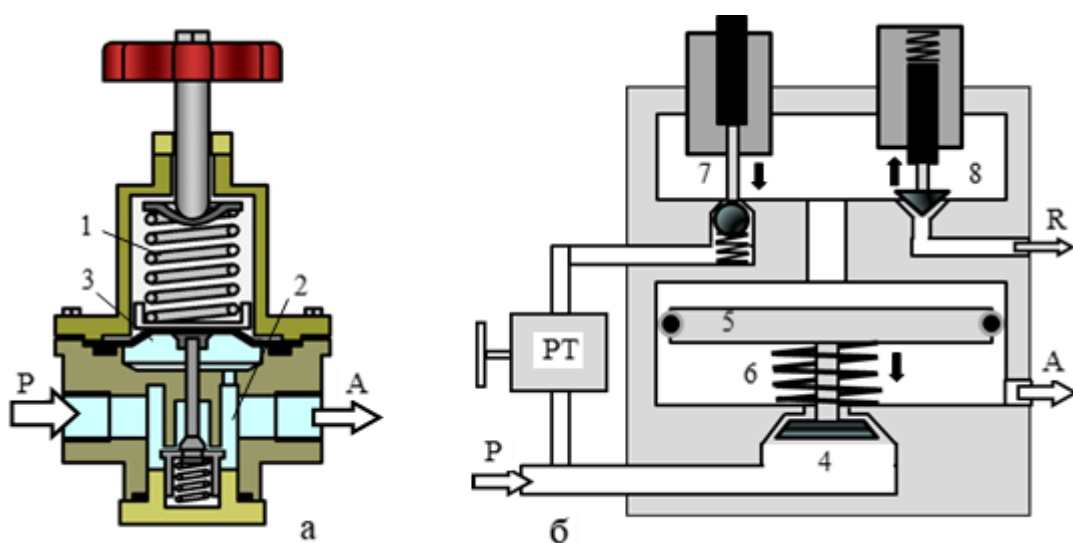


Рис. 5.34. Пристрої керування тиском: а – регулятор; б – модулятор

Регулятор тиску (РТ) встановлюється після балона зі стисненим повітрям і дозволяє встановлювати і підтримувати задане значення тиску в живильній магістралі на механічному рівні. При цьому, опорне значення тиску на виході РД задається зусиллям пружини 1, а зворотний зв'язок по тиску реалізовано через тиск по каналу 2, який діє на мембрану 3 (рис. 5.34, а). У мехатронній системі пневмопривода, ключовим елементом керування ПНД є модулятор тиску з електроклапанами (рис. 5.34, б).

Модулятор тиску (МД) працює наступним чином. Тиск на вході (канал «Р») надходить в лінію споживача «А» через пропорційний клапан 4, положення якого визначається балансом сил тиску над і під поршнем 5 з урахуванням дії зворотної пружини 6. Для змінення тиску

над поршнем, в камеру з впускним 7 і випускним 8 нормально закритими електроклапанами підводиться керуючий тиск, максимальне значення якого, встановлюється регулятором тиску РТ.

Підвищення тиску в лінії «А» відбувається в стані, коли клапан 7 відкритий (ШІМ-регулювання), а клапан 8 закритий. Утримання тиску в камері над поршнем 5 і лінії «А» відбувається при закритих клапанах 7 і 8. Зниження тиску над поршнем і лінії «А» відбувається при закритому клапані 7 шляхом скидання тиску в атмосферу «R» через відкритий клапан 8 (ШІМ-регулювання).

У якості модулятора тиску можуть бути використані промислові зразки пристроїв пневматичних систем ABS і EBS (модулятор гальмівного тиску, пропорційний прискорювальний клапан, подвійний електроклапан, кран керування гальмами причепа).

Розглянемо варіанти побудови пневматичних приводів в міру ускладнення конструкції ПНД, починаючи з конвертації поршневих автомобільних ДВЗ і закінчуючи конструкціями оригінального виконання.

Пневмодвигун з механічним розподільником повітря, відомий як двигун Миколи Пустинського, побудований на базі ДВЗ, що працює по двотактному циклу, з доопрацюванням конструкції ГРМ. Розподільник повітря (РП) по циліндрах являє герметизований циліндричний корпус, всередині якого, без зазору обертається ротор з повітряними каналами. Впускні канали ротора сполучаються з джерелом тиску, а випускні, – з атмосферою. Порожнина статора РП сполучається з каналами впуску і випуску циліндрів ДВЗ через отвори у корпусі. Розташування отворів повітряних каналів на поверхнях ротора і порожнини статора РП фазовані таким чином, що при обертанні ротора відбувається газорозподіл повітряних потоків, по робочому алгоритму. Привід ротора РП здійснюється аналогічно приводу розподільних валів ГРМ базового ДВЗ. Таким чином, конвертація ДВЗ полягає в заміні штатного РВ на оригінальний РП.

Пневмопривід складається з: двигуна з впускними 6 і випускними 7 каналами циліндрів; балона зі стисненим повітрям з вентилем 1; редуктора тиску 2; модулятора тиску МД; компонентів системи керування (рис. 5.35).

Режим роботи двигуна визначається його навантаженням по обертаючому моменту і значенням тиску повітря на вході в розподільник.

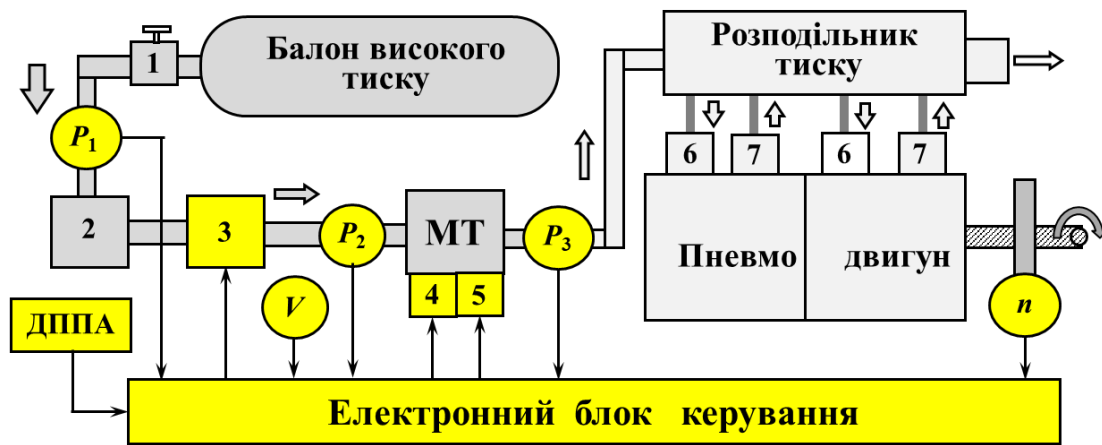


Рис. 5.35. Схема пневмопривода з конвертованим ДВЗ:

1 – вентиль; 2 – редуктор тиску; 3 – електроклапан відсічення;
4, 5 – електроклапани модулятора тиску; 6, 7 – впускні і випускні канали ПНД

Керування тиском в експлуатаційних режимах автомобіля здійснюється електронною частиною мехатронної системи по сигналах з електронної педалі акселератора (датчика ДППА) шляхом активізації модулятора тиску МТ з електроклапанами 4, 5. Для контролю режимного стану пневмотрансмісії, в повітряних магістралях передбачені датчики тиску P . Швидкісний режим двигуна контролюється датчиком частоти обертання колінчастого валу n , швидкість руху автомобіля, – датчиком V . На підставі сигналів датчиків, ЕБК формує сигнали керування клапанами модулятора тиску. Для відключення подачі тиску в автоматичному режимі, передбачений ЕК відсічення тиску 3.

Аналогічний підхід, але із застосуванням електричних клапанів газорозподілу може додатково передбачати контур рекуперації енергії гальмування (рис. 5.36).

На рисунку суцільними стрілками вказано напрям сигналів системи керування (датчиків і виконавчих пристроїв), широкими, – потоки повітря. У двигуні такої конструкції, відсутній жорсткий механічний зв'язок між положенням КВ (поршнів) і клапанів ГРМ. Керування циклом перемикавання клапанів ГРМ 8 і 9 в статусах мотора і компресора, здійснює ЕБК 10 на підставі інформації про кутове положення КВ 17. Причому, для початку і підтримання робочого процесу в двигуні, необхідно знати положення поршнів в циліндрах не тільки при обертанні КВ, але і в початковому статичному стані. З цією метою, у якості датчика кутового положення і частоти обертання 17 застосовуються енкодери.

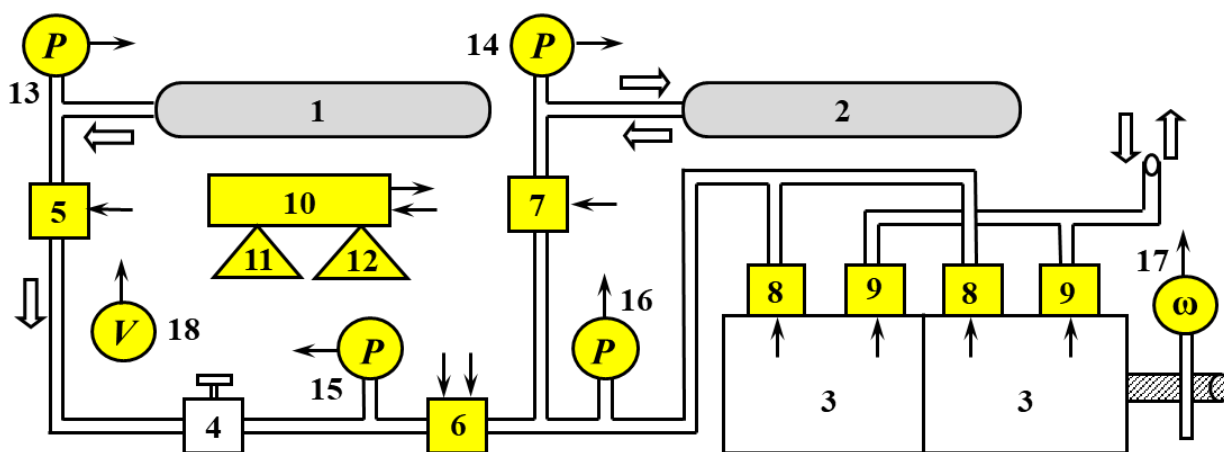


Рис. 5.36. Схема пневмотрансмісії з контуром рекуперації:

1 – балон високого тиску; 2 - пневмоакумулятори; 3 – циліндри пневмоагрегату; 4 – редуктор тиску; 5, 7 – електроклапани відсічення; 6 – модулятор тиску; 8, 9 – впускні і випускні електричні клапани ГРМ; 10 – ЕБК; 11, 12 – датчики положення педалі газу і гальма; 13...16 – датчики тиску; 17 – датчик положення КВ; 18 – датчик швидкості руху автомобіля

При роботі приводу в статусі мотора з балоном 1, клапан 5 відкритий, а клапан 7 закритий. За сигналом з датчика педалі акселератора 11 ЕБК регулює тиск у магістралі впускних клапанів 8 за допомогою модулятора 6. При цьому, підтримка заданого режиму забезпечується цифровими ПД-регуляторами зі зворотними зв'язками по тиску (датчик 16) і частоті обертання (датчик 17). Зупинка двигуна після зниження тиску регулятором 6 дублюється перекриттям клапана 5.

Перехід приводу в статус компресора, активізується сигналом датчика педалі гальма 12. При цьому, регулятор 6 перекриває подачу повітря від балона 1 і відкривається клапан 7. Цикл перемикавання клапанів ГРМ задається ЕБК на підставі сигналів з датчиків 17 і 12. При зниженні тиску компресора (датчик 16) відбувається перекриття каналу зарядки акумулятора 2 клапаном 7. Можливість продовження зарядки акумулятора 2 в режимі гальмування, оцінюється ЕБК по співвідношенню тисків 14 і 16. Рушення и розгін приводу на енергії акумулятора 2 лімітується набраним тиском 14 и активізується акселератором 11 (клапан 7 відкривається). Недоліком конвертування двигунів з безпосередньою подачею повітря, є їх охолодження при розширенні повітря в циліндрах під час такту робочого ходу [73, 74].

У поршневих *двигунах Гая Негре* використовуються термодинамічні ефекти, що дозволяють підвищити енергію газів за рахунок їх нагрівання при стисканні [75, 76]. Конструкція двигуна Негре першого

покоління базується на двох рівноцінних циліндрах ДВЗ, один з яких виконує функції компресора, а другий, – рушія. Між газовими каналами циліндрів утворена проміжна камера з керованими клапанами для розширення стисненого повітря, яке подається із зовні. Цикл роботи пневмодвигуна Негре, на відміну від ДВЗ, розділений по двом циліндрам. У компресійному циліндрі 1 відбувається впуск і стиснення, а в декомпресійному 2, – робочий хід и випуск (рис. 5.37).

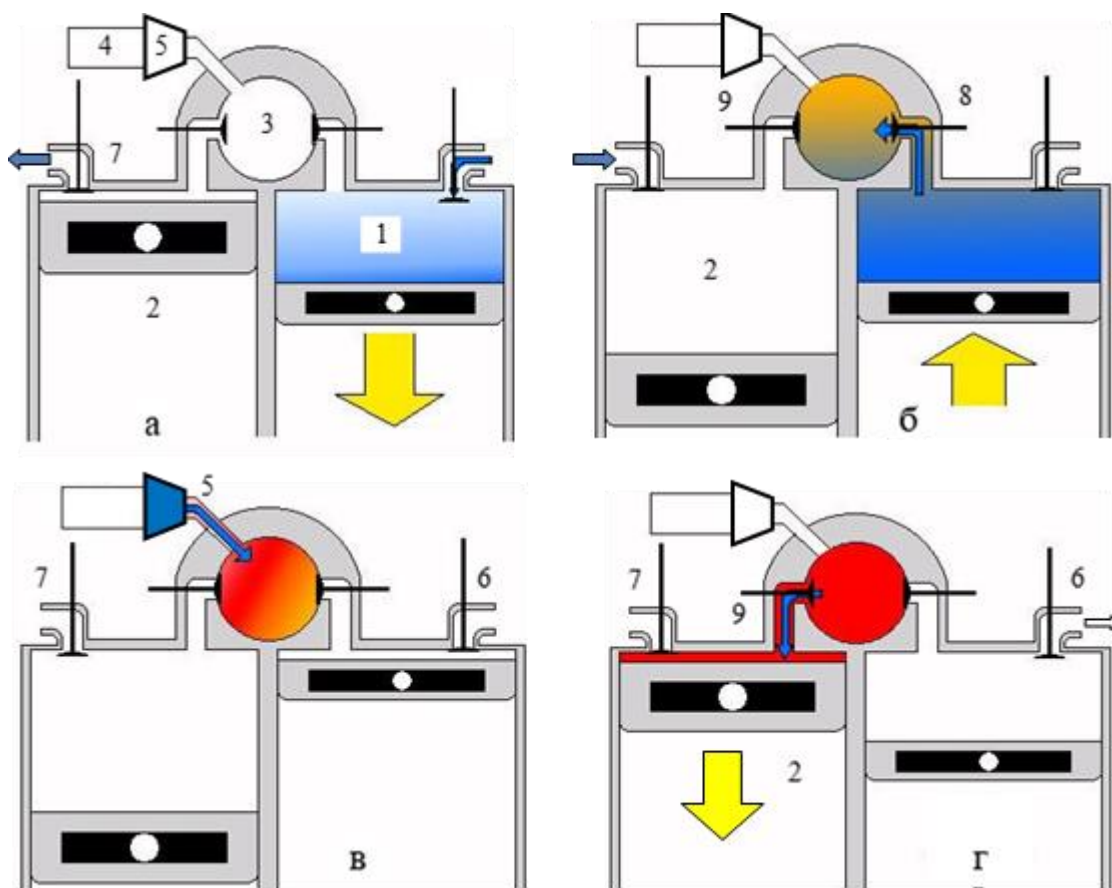


Рис. 5.37. Робочий цикл пневмодвигуна Гая Негре:
а – фаза впуску/випуску; б – фаза стиснення; в – фаза розширення;
г – робочий хід

З балона високого тиску 4 в порожнину проміжної камери 3 підведена магістраль з повітряним інжектором 5. Перші два такти виконуються звичайним способом (рис. 5.37, а, б). В кінці такту стиснення, повітряний заряд через клапан 8 надходить в проміжну камеру під компресійним тиском з виділенням тепла (рис. 5.37, б). Коли поршень циліндра 1 знаходиться у верхній мертвій точці, камера 3 перекривається і до неї інжектуються повітря з балона під високим тиском, ви-

кликаючи підвищення і тиску, і температури (рис. 5.37, в). Далі, відбувається холостий хід при відкритих клапанах 6 і 7 (на рисунку не показаний). Після перекриття інжектора 5 відбувається робочий хід поршня під тиском, спричиненим розширенням заряду повітря в камері циліндра 3, через клапан 9 (рис. 5.37, г).

На зворотному ході поршня циліндра 2 відбувається випуск повітря в атмосферу через клапан 7 (рис. 5.37, а). Для реалізації робочого процесу двигуна Негре в експлуатаційних режимах шляхом узгодження спрацьовування клапанів проміжної камери і повітряного інжектора використовується електронна система керування.

Використання циліндрів рівного об'єму в двигунах Негре першого покоління дозволяє знизити витрати на конвертацію ДВЗ при їх виготовленні. Поряд з цією перевагою, основна проблема, пов'язана з охолодженням двигуна і втратами енергії в результаті розширення повітря, залишається. В порівнянні з пневмодвигунами, де подача повітря здійснюється безпосередньо в циліндри, триступеневе розширення дозволяє знизити негативний ефект охолодження.

Оригінальний комбінований *пневмодвигун Анджело Ді П'єтро* має переваги ротаційних і поршневих конструкцій, оскільки має кілька камер розширення 1, розділених лопатями 2 [82, 84] (рис. 5.38, а).

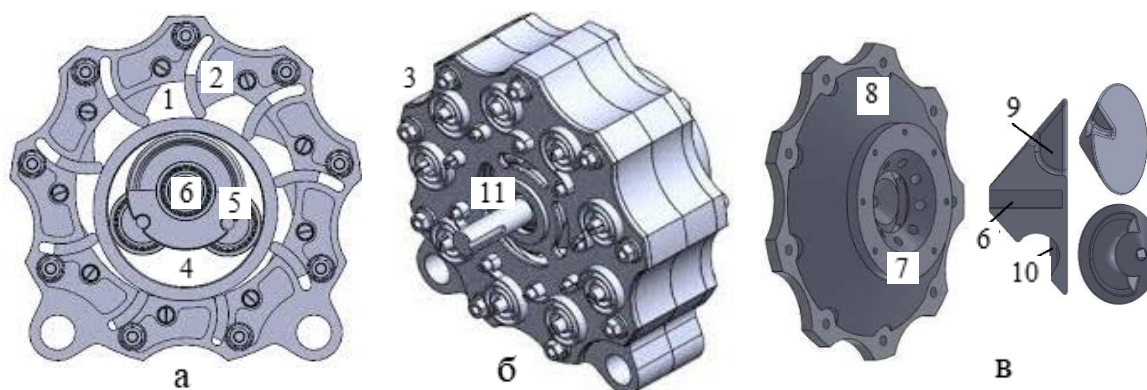


Рис. 5.38. Конструкція пневмодвигуна Анджело Ді П'єтро з дев'ятьма камерами:

а – вид без кришок; б – в зборі, вид спереду; в – монтаж розподільника повітря

Лопаті статора, пружині на осі їх установки 3, можуть погрожуватися в щілинні отвори, забезпечуючи при цьому, щільне прилягання до кільця ротора 4. Роторне кільце 4, затиснуте зовні лопатями 2, всередині спирається на спеціальні ролики 5, закріплені своїми осями на валу ротора 6. У камери, що утворені лопатями статора, послідовно

підводиться тиск повітря, викликаючи об'ємне розширення камер, яке призводить до ексцентричного обертання роторного кільця 4 і осьового обертання валу ротора 6.

Подача і відведення повітря по камерах здійснюється за допомогою механічного розподільника. Обойма розподільника 7 з дев'ятьма впускними і чотирма випускними каналами встановлена в задній кришці статора 8 (рис. 5.38, в). Ротор розподільника конусної форми, встановлений в обойму 7, кріпиться на валу ротора 6 і герметизується запірною кришкою зі штуцером подачі повітря. При обертанні двигуна, порожнина під запірною кришкою послідовно сполучається з впускними каналами через роздавальну порожнину ротора розподільника 9. Послідовний випуск повітря з камер 1 проводиться через випускні порожнини ротора 10 і випускні канали обойми розподільника, які сполучаються з вентиляційними отворами передньої кришки двигуна 11 через внутрішню порожнину роторного кільця 4. Таким чином, послідовна зміна об'єму, камер 1 під тиском повітря, призводить до обертання ротора двигуна. При цьому, швидкість і обертаючий момент двигуна легко контролюються шляхом регулювання кількості або тиску повітря, що подається в двигун. Ці функції виконуються модуляторами тиску під електронним керуванням.

Двигун Анджело Ді П'єтро має ряд переваг в порівнянні з іншими конструкціями пневмодвигунів:

- мала вага і простота устрою;
- не створює шуму і вібрацій;
- можливість керувати одночасно і швидкістю обертання і обертаючим моментом;
- можливість установки безпосередньо на колеса АТЗ.

5.6. Композиції пневматичних гібридних силових установок

Розглянемо основні напрямки створення пневматичних гібридів, пов'язані із застосуванням:

- повітряно-гібридних двигунів;
- конвертованих ДВЗ як пневматичних двигунів у складі ГСУ;
- пневматичних двигунів загального призначення або оригінальних конструкцій у складі ГСУ;
- гідравлічних трансмісій у складі пневматичних ГСУ.

Повітряно-гібридні двигуни (ПГД) будуються на базі ДВЗ з додатковою системою газорозподілу повітряного заряду [78]. Розрізняють схеми ПГД з почерговим (послідовним) і одночасним (паралельним) перетворенням теплової енергії палива і енергії стисненого повітря в циліндрах двигуна.

У двигунах, побудованих за послідовною технологією, використовується компресор, для початкової генерації тиску в пневматичному балоні. Зарядка балона стисненим повітрям може здійснюватися від зовнішнього або вбудованого компресора. Привід вбудованого компресора здійснюється від ПГД в статусі ДВЗ або від коліс автомобіля в режимі рекуперативного гальмування. Запасене в балоні стиснене повітря, забезпечує наддування в циліндри для ефективного згоряння палива. Можливість пневматичного перезапуску дозволяє знизити ймовірність роботи двигуна на режимі холостого ходу і тим самим підвищити паливно-економічні та екологічні показники АТЗ.

У концептах ПГД з одночасною роботою паливних 1 і пневматичних 2 циліндрів використовуються рівноцінні циліндри або циліндри адаптованого об'єму (рис. 5.39).

Спочатку, повітряні циліндри ПГД працюють в статусі компресора з приводом від паливних циліндрів. Надмірний тиск, в цьому випадку, акумулюється в балоні 3 з подальшим його використанням або для наддування повітря в паливні циліндри 1, або для пневмопривода від повітряних циліндрів 2 в статусі пневмодвигуна.

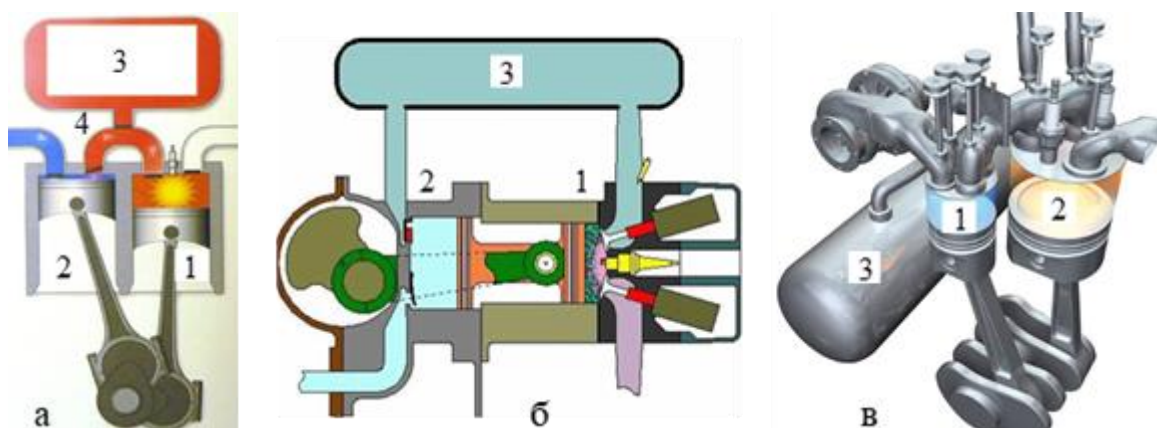


Рис. 5.39. Конструкції повітряно-гібридних двигунів з паралельним перетворенням енергії:

- а – схема перетворення енергії; б – конструкція з циліндрами рівного об'єму;
в – конструкція з циліндрами адаптованого об'єму

При цьому, режим роботи пневмоакумулятору 3 контролюється клапанами розподілу 4. Як варіант, для пневмоприводу може бути задіяний один з циліндрів 4-х або 3-х циліндрових ДВЗ, які працюють по двох або чотиритактному циклу (технологія АНЕ – Air Hybrid Engine). При цьому, агрегат здатний функціонувати на декількох режимах:

- віддачі потужності в статусі ДВЗ;
- віддачі потужності в статусі пневмодвигуна;
- спільної роботи повітряних і паливних циліндрів;
- наддування повітря в паливні циліндри;
- зарядки повітряного балона за рахунок енергії паливних циліндрів;
- зарядки повітряного балона при рекуперативному гальмуванні;
- перезапуску ДВЗ від стисненого повітря;
- рекуперації теплової енергії двигуна в повітряному балоні.

Таким чином, за аналогією з електричними гібридами, послідовні ПГД, залежно від реалізованих режимів, можна класифікувати як мікро-гібриди або повні незаряджувані гібриди.

Алгоритми керування ПГД реалізуються за допомогою ЕСК. При цьому, система моніторингу повинна контролювати режимні параметри, які притаманні і пневматичному приводу і ДВЗ. Кінцевий перелік датчиків і склад виконавчих пристроїв ЕСК визначається кількістю функцій і гнучкістю алгоритму керування ПГД.

Пневматичні гібридні силові установки (ГСУ), за аналогією з електричними гібридними установками, класифікують за загальними ознаками [2] (рис. 5.40).

Під композицією ГСУ розуміють якісний склад приводу, а під конфігурацією, – схему передачі потужності джерел енергії на колеса транспортного засобу. У загальному випадку ГСУ з пневмоприводом крім ДВЗ може включати різні силові агрегати:

- пневматичний агрегат (ПНА), що функціонує в режимах двигуна і компресора;
- пневматичний акумулятор низького тиску (ПАК);
- пневматичний балон високого тиску (ПНБ);
- теплообмінник (ТОБ);
- електричну машину в режимах двигуна і генератора (ЕЛМ);
- тягову акумуляторну батарею (ТАБ).



Рис. 5.40. Структурна класифікація пневматичних ГСУ

Енергетичний обмін між перерахованими агрегатами ГСУ і колесами автомобіля «К» можна надати у вигляді узагальненої структури (рис. 5.41).

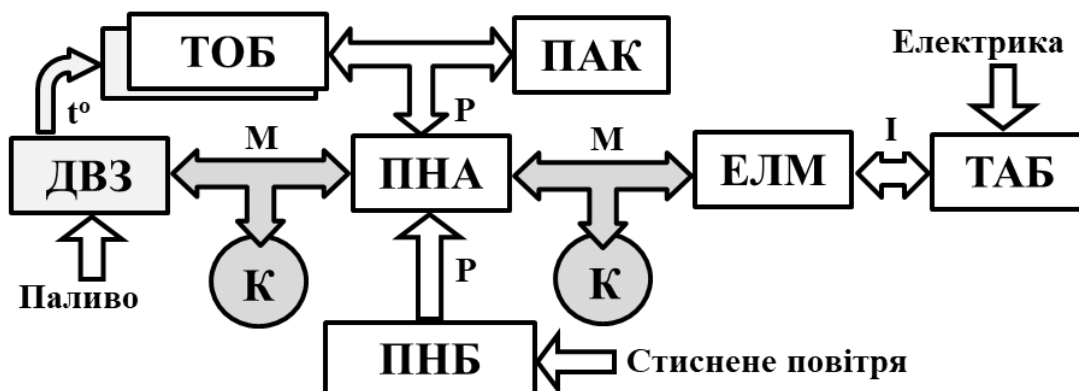


Рис. 5.41. Узагальнена структура енергетичного обміну в ГСУ з пневмоагрегатом

Потужність, що розподіляється між силовими агрегатами, має різну природу енергії, яка параметрується температурою t° , струмом I , тиском P . Потужність, що передається механічним шляхом при заданій частоті обертання n , визначається крутним моментом M . Двох-направлені стрілки на схемі рис. 5.41 вказують на можливість реалізації

систем рекуперації енергії. Механічний зв'язок між силовими агрегатами і колесами автомобіля здійснюється через трансмісію.

З позицій *енергетичної автономності*, гібриди з пневмоприводом, за аналогією з електричними гібридами можна поділити на два типи - заряджувані ECH (Externally Charged Hybrid) та незаряджувані NRH (Non-Rechargeable Hybrid). Вибір композиції пневматичної ГСУ з позицій автономності опирається на баланс енергії пневмоприводу під заданий їздовий цикл. При цьому, розглядається варіація параметрів силових агрегатів пневмоустановки (рівень тиску, об'єм акумулятора, продуктивність пневмоагрегату), що дозволяють з одного боку підтримувати динаміку руху автомобіля за рахунок енергії альтернативного двигуна, з іншого – подолати момент рушання та забезпечувати заданий цикл руху на енергії пневмоприводу.

Згідно узагальненій структурі можна побудувати різні композиції ГСУ із застосуванням ПНА, де альтернативним двигунам відводиться роль основного або допоміжного силового агрегату. Ступінь використання двигуна зазвичай оцінюють кількістю енергії, що витрачається в їздовому циклі. При цьому, розглядають різні процентні показники: потужність, що розвивається двигуном; ресурс пробігу в заданому статусі; кількість і вартість енергоносія витраченого на базовому пробігу.

Таким чином, раціональність використання тієї чи іншої композиції ГСУ визначається умовами експлуатації і режимами руху транспортного засобу. Так, наприклад, електропневматична композиція дозволяє використовувати переваги пневмоприводу при рушанні і розгоні автомобіля (мінімальна витрата тиску і максимальний обертовий момент) і електроприводу на швидкісних режимах (мінімальний струм споживання) при значних пробігах (велика енергоємність акумулятора). При цьому, треба розуміти, що електричний привід, який заряджається, виступає як основний, а рекуперативний пневматичний, – як допоміжний. Трикомпонентна ГСУ також може розглядатися, як двоступінчаста пневматична система пуску потужного ДВЗ, в якій проводиться попередня компресія тиску в ПАК за рахунок енергії електроприводу.

Функціональність ГСУ визначається призначенням системи пневматичного приводу (старт-стоп, розгін-гальмування, повного гібрида) і гнучкістю алгоритмів керування (переліком датчиків, методом керування, способом реалізації керуючих впливів).

Системи «Старт-стоп» SS (Start-Stop) реалізуються у структурі ПГД (див. вище) або шляхом застосування пневмостартерів для автоматичного перезапуску ДВЗ.

Системи «Розгін-гальмування» АВ (Acceleration-Braking) реалізують свої функції за рахунок рекуперації енергії стисненого повітря в пневмоакумуляторі при загальмовуванні коліс автомобіля і подальшому їх розгоні. При цьому, акумулятор циркулює в режимі пневматичної пружини.

Класифікаційна відмінність *повних гібридів* FH (Full Hybrid) від систем АВ є дещо умовною і полягає в наявності у перших, додаткового джерела енергії для заряду акумулятора у вигляді альтернативного тягового двигуна (для незароджуваних) або зовнішньої станції (для заряджуваних). При цьому, акумулятор додатково виконує функції ресивера.

Визначення виду гібрида уточнює його конфігурація. Так, наприклад, для пневмогібридів з ДВЗ, іменованих ЕНРВ (Engine Hybrid Pneumatic Vehicle), за аналогією з електричними гібридами, прийнято розглядати три схеми (конфігурації) передачі потужності від агрегатів силової установки до коліс автомобіля.

У *послідовній схемі* SH (Serial Hybrid) навантаженням ДВЗ виступає компресор. При цьому, обирається найбільш економічний режим роботи ДВЗ. Стиснене повітря від компресора надходить у ПАК і далі через редуктор на пневмодвигун, який передає обертовий момент на колеса автомобіля. При гальмуванні, компресор приводиться в дію від коліс автомобіля, забезпечуючи акумуляцію кінетичної енергії. Перевагами такої схеми є: відносна простота керування силовою установкою, відсутність спеціальних вузлів трансмісії, можливість використання ДВЗ малої потужності в економічних режимах. Недолік такого варіанта – малий ККД.

У *паралельній схемі* PH (Parallel Hybrid), ДВЗ і ПНД, який працює від балонів високого тиску, пов'язані з ведучими колесами через трансмісію. При рекуперативному гальмуванні ПНА працює в режимі компресора й забезпечує зарядження повітря в ресивер. Така конфігурація забезпечує більший ККД. Недоліками такого варіанта є: ускладнення трансмісії й системи керування, більш широкий діапазон робочих режимів ДВЗ, необхідність заправлення балонів високого тиску від зовнішніх компресорів.

У змішаній схемі МН (Mixed Hybrid) привід ведучих коліс може здійснюватися від допоміжного пневмодвигуна, від основного ДВЗ, або від обох двигунів, включених паралельно. Ключовим елементом ГСУ є розподільник потужності, який забезпечує перерозподіл потоків потужності між ходовою частиною автомобіля, основним двигуном, допоміжним двигуном и контуром рекуперації енергії.

Таким чином, формальний опис пневмогібриду можна представити аббревіатурою, позиції в якій означають: енергетичну автономність автомобіля (EC/NR) призначення системи (SS/AB/FN); композицію (ENPV/ENHV/PHEV) та конфігурацію (S/P/M) силової установки. Наприклад, аббревіатуру NR-FN-ENPV-P треба розуміти, як: незаряджуваний повний гібрид з ДВЗ, який працює паралельно з пневмодвигуном. Додатково в аббревіатурі можна вказати особливості устрою силової установки (конструкції двигунів, акумуляторів, теплообмінників, механічної трансмісії).

Розглянемо кілька прикладів пневматичних ГСУ автомобілів, які представлені на рівні структурних схем, проектів, експериментальних зразків і промислової продукції.

В системі «Розгін-гальмування» автомобіля у якості ПАК використовується ресивер. Застосування оборотного лопатевого ПНА в рекуперативних режимах вимагає ускладнення схеми пневматичної системи. Це пов'язано з тим, що оборотність більшості ротаційних машин характеризується різноспрямованістю обертання ротора (у режимі двигуна в одну сторону, а в режимі компресора – у зворотну). Ведений вал трансмісії автомобіля, як привід ПНА, обертається в один бік і під час відбору потужності з коліс, і під час передачі на них обертаючого моменту. Вирішити цю проблему можна шляхом застосування інвертуючого редуктора або клапанної розв'язки з розподільником тиску (див. рис. 5.33).

У змішаному незаряджаємому ENPV-гібриді керована планетарна передача 1 поєднує вали пневмоагрегату ПНА, ДВЗ (через автоматичну коробку передач АКП) та головної передачі 2 переднього (ведучого) мосту [79] (рис. 5.42).

Потовщеними стрілками на схемі рис. 5.42 вказано напрямок потоку повітря в магістралях для режимів компресора (суцільними) і мотора (пунктирними), тонкими – символізуються керуючі впливи.

У режимі гібридного приводу, сумарний обертаючий момент від силових агрегатів $M_3 = M_1 + M_2$ передається на передні колеса.

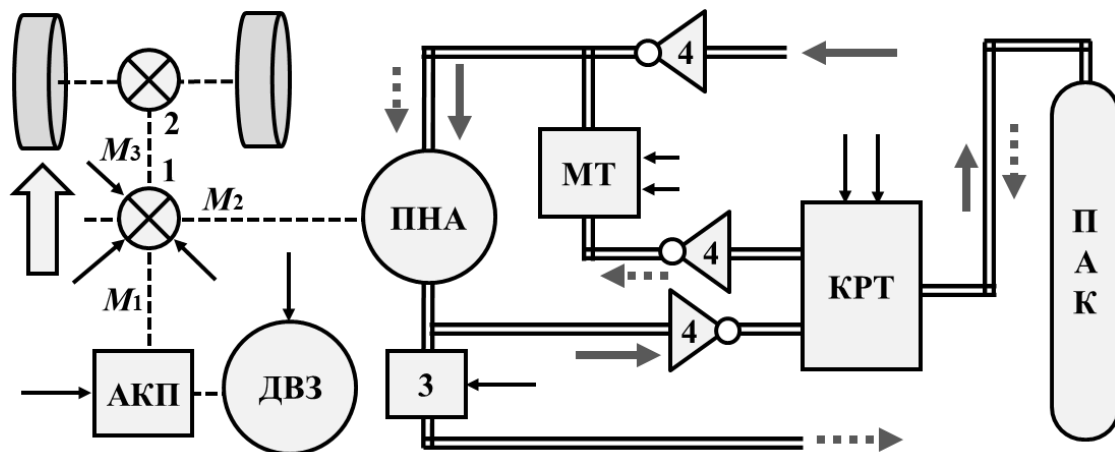


Рис. 5.42. Схема незаряджуваного пневмогібриду:

- 1 – керована планетарна передача; 2 – диференціал ведучого моста;
 3 – запірний електроклапан; 4 – зворотні клапани; МТ – модулятор тиску;
 КРТ – золотниковий клапан розподільник тиску;

Під час приводу від ПНА відбувається редукція з моменту $M_3 = zM_2$. З метою усунення втрат в трансмісії під час руху тільки на ДВЗ, можна передбачити відключення валу ПМА в напіваавтоматичному або автоматичному режимі ($M_3 = M_1$). При рекуперативному гальмуванні, обертаючий момент передається у зворотному напрямку – $zM_3 = -M_2$. Режим компресора ПНА може забезпечуватись і від ДВЗ (заправка балона $M_2 = zM_1$). Якщо, виникає потреба в заправці ПАК під час руху на потужності ДВЗ, планетарний диференціал забезпечує розподіл крутних моментів $M_3 = M_1 - M_2$.

В режимі пневмодвигуна, запірний клапан 3 відкритий, розподільник КРТ забезпечує витрату повітря з балона ПАК. При цьому, модулятор тиску МТ (керує рівнем тиску повітря на вході ПНА, а отже і крутним моментом M_2 на його валу, при заданому навантаженні на ведучих колесах.

В режимі компресора ПНА, клапан 3 закритий, КРТ переключений на заряд балона повітрям. При заряді балона ПАК до граничного значення тиску, клапан 3 відкриває вихід компресора, виключаючи втрати на компресію в камерах ПНА. Зворотні клапани 4 забезпечують розв'язку потоків повітря пневмотрансмісії в режимах мотора і компресора. Таким чином, конфігурація змішаного гібрида загалом передбачає до шести експлуатаційних режимів (статусів): привід від ДВЗ;

пневматичний привід; рекуперативне гальмування; заряд балона повітрям за рахунок енергії ДВЗ; гібридний привід; привід від ДВЗ з одночасним зарядженням повітря.

Керування мехатронною системою змішаного гібрида проводиться в напіваавтоматичному або автоматичному режимах. Первинна інформація для запуску алгоритмів оптимального керування надходить в ЕБК з датчиків положення: селектора вибору режиму; педалі акселератора; педалі гальма; селектора коробки передач. Додатково, для ідентифікації транспортного стану системи, в приводі використовується інформація з датчиків: тиску в балоні ПАК і лінії подачі повітря P ; швидкості руху автомобіля V ; частоти обертання n і навантаження ДВЗ (положення ДЗ).

Як вже зазначалось, стиснене повітря при розрядженні знижує температуру свого стану, а охолодження газу в замкнутому просторі приводить до зниження його тиску. Щоб зберегти питому енергоємність термодинамічної системи пневмоприводу (знизити втрати на охолодження) в ГСУ, використовують побічну теплову енергію ДВЗ. Провідником теплової енергії ДВЗ може виступати або рідина системи охолодження двигуна, або відпрацьовані гази. Крім того, як потенційні джерела тепла, можна розглядати охолоджуючі системи агрегатів трансмісії (КПП), електричних машин і ТАБ. Таким чином, використання теплообмінника ТОБ в системі пневмопривода дозволяє підвищити енергоресурс ГСУ в цілому і знизити градієнтні температурні навантаження її елементів. Слід зазначити, що застосування ТОБ виправдано для пневматичних систем, які працюють у режимі віддачі під значним тиском (від балонів високого тиску), що характерно для гібридів, які заряджаються із-зовні.

Розглянемо варіант застосування теплообмінника на прикладі *повного гібрида, що заряджається із-зовні* для паралельної схеми ЕНРВ, де в якості пневмоагрегату використовується конвертований ДВЗ. Пневмотрансмісія ГСУ додатково включає двоступеневу систему теплообміну між системою подачі стисненого повітря і вихлопним трактом теплового ДВЗ [73] (рис. 5.43).

Теплообмінник складається з двох секцій – попереднього 11 і остаточного 12 підігріву повітря, які забезпечують підігрів ділянок пневмомагістралі, де відбувається розширення повітря. Причому, перша гарячіша секція, діє на ділянці меншого тиску (після модулятора 6), а друга на ділянці розширення після редуктора 4.

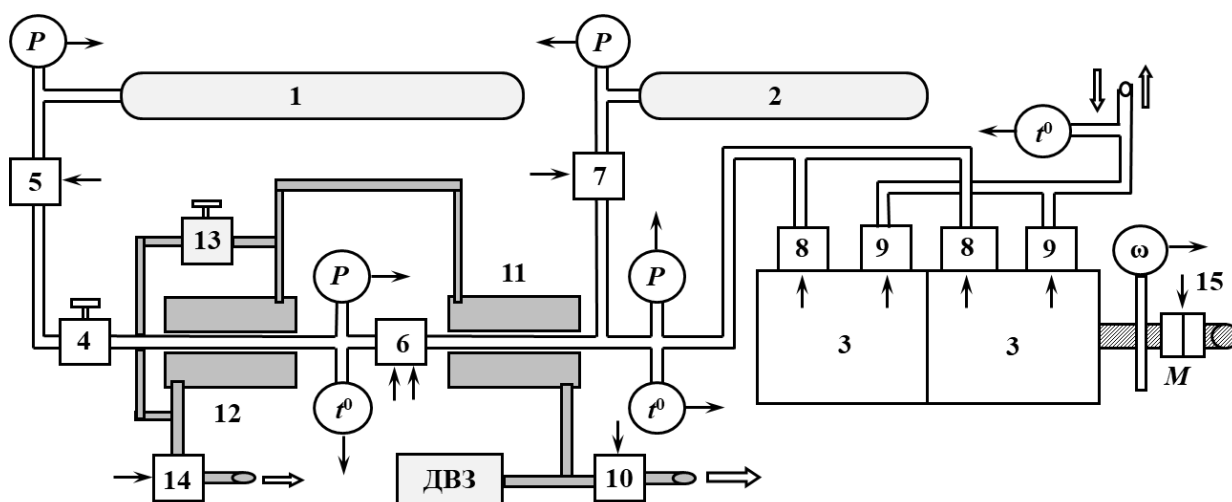


Рис. 5.43. Схема пневмотрансмісії ГСУ з теплообмінником:

1 – балон високого тиску; 2 – пневмоакумулятор; 3 – циліндри пневмоагрегату; 4, 13 – редуктори тиску; 5, 7 – електроклапани; 6 – модулятор тиску; 8, 9 – впускні і випускні електричні клапани ГРМ; 10, 14 – електричні заслінки; 11, 12 – секції теплообмінника; 15 – електромагнітна муфта зчеплення

Тиск P і температура повітря t^0 на ділянках контролюються відповідними датчиками. Електричні заслінки 10, 14 регулюють ступінь нагріву повітря в системі відведення вихлопних газів. Редуктор 13 дозволяє узгодити інтенсивність теплообміну другої секції з її ефективним об'ємом.

Механізм керованого зчеплення 15 забезпечує підключення валу пневмоагрегату до механічної трансмісії автомобіля для передачі обертаючого моменту M в режимах пневмопривода, рекуперативного гальмування і спільної роботи двигунів.

В послідовному незаряджуваному ЕНРВ використовується малопотужний ДВЗ і лопатевий ПНД, а теплообмін реалізується за рахунок теплової енергії згоряння палива в циліндрах ДВЗ [80] (рис. 5.44).

Підкачка тиску повітря в балон 2 до 2 МПа відбувається за рахунок картерної компресії ДВЗ, створюваної поршнем при тиску в робочому такті циліндра 6 близько 4 МПа. Повітряний заряд, проходячи через охолоджуючу порожнину ДВЗ 7 збільшує тиск під дією температури до 3 МПа і надходить на вхід пневмодвигуна 8. Ротор останнього передає обертаючий момент через понижуючий редуктор 9 на ведучі колеса автомобіля 10.

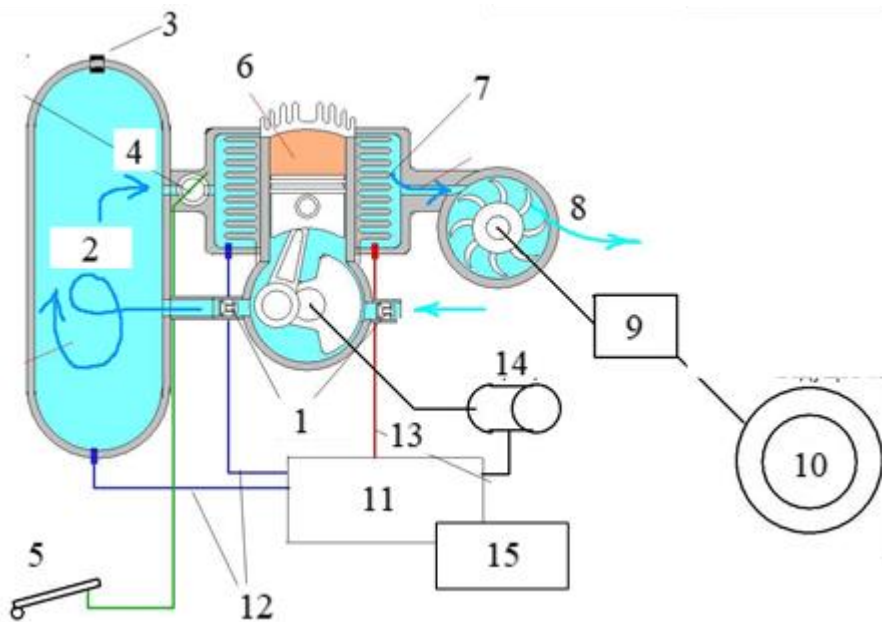


Рис. 5.44. Схема мехатронної системи послідовної ГСУ:

- 1 – жиклери; 2 – ресивер; 3 – запобіжний клапан; 4 – регулятор потужності пневмодвигуна; 5 – педаль акселератора; 6 – камера згорання ДВЗ; 7 – теплообмінник; 8 – пневмодвигун; 9 – редуктор; 10 – ведуче колесо; 11 – ЕБК ГСУ; 12 – датчики тиску; 13 – датчик температури; 14 – стартер; 15 – ЕБК ДВЗ

Швидкість руху автомобіля змінюється за рахунок електрично керованого пневматичного дроселя 4 під керуванням педалі газу 5. Електронний блок 11 контролює тиск 12 і температуру повітря 13 в балоні 2 і теплообміннику ДВЗ та подає команди на запуск ДВЗ від електростартера 14. При цьому, періодична підкачка тиску проводиться при оптимальних обертах ДВЗ (залежно від показань датчиків тиску і температури).

Пневмодвигун не гальмує при їзді накатом. Витрата палива ДВЗ на обертах 2000 хв^{-1} для підкачки повітря 800 л/хв , ставить $0,5 \text{ л}$. Витрата повітря для підтримання обертаючого моменту 360 Нм при частоті обертання 6000 хв^{-1} , становить 400 л/хв .

Найбільший практичний інтерес представляють ГСУ з гідравлічною трансмісією ЕННВ (Engine Hydraulic Hybrid Vehicle). Джерелом енергії в таких пневмогідравлічних системах є гідроаккумулятор, який являє собою балон з двома камерами, розділеними еластичною оболонкою, мембраною або поршнем. Одна камера замкнута і наповнена газом (газовий підпір). У другу камеру подається рідина (зазвичай трансмісійна), яка витісняє об'єм газової камери, підвищуючи тиск газу (зазвичай азоту) в ній.

Паралельний незаряджуваний гібрид ЕННВ забезпечує чотири режими приводу [2, 78, 81] (рис. 5.45).

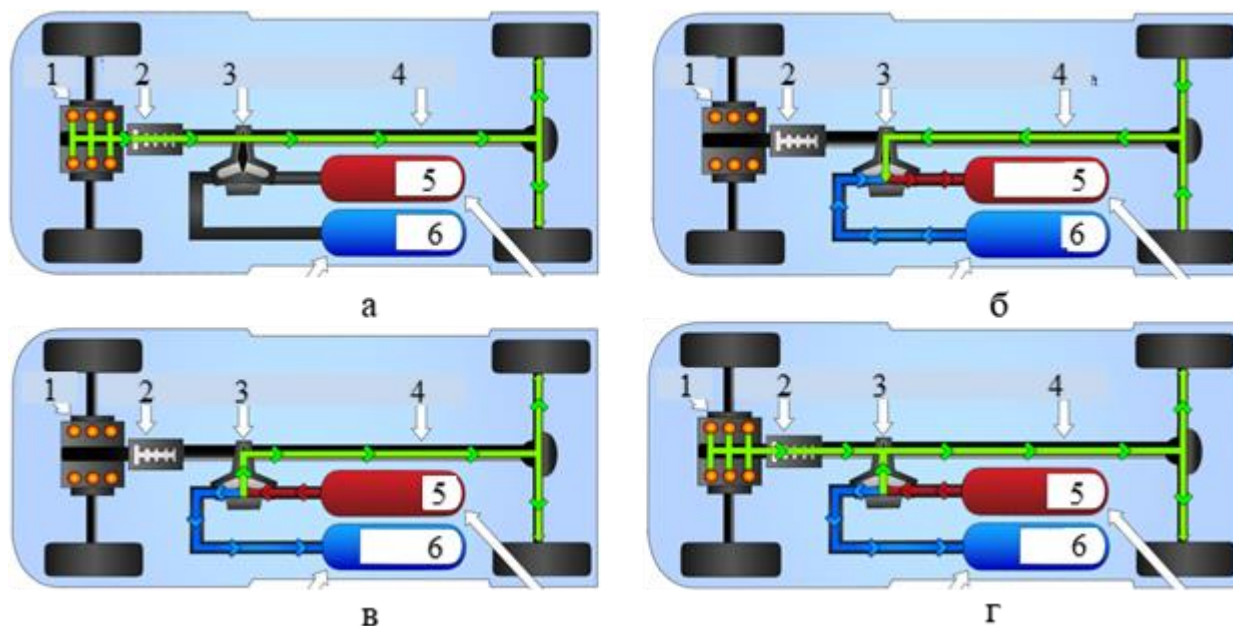


Рис. 5.45. Схема передачі потужності в режимах:
а – приводу від ДВЗ; б – рекуперативного гальмування; в – приводу від гідромотора; г – гібридного приводу

На рис. 5.45 позначені позиції: 1 – ДВЗ; 2 – коробка передач; 3 – гідроагрегат; 4 – карданна передача; 5 – гідроаккумулятор; 6 – резервуар робочої рідини. Балони резервуара 6 і гідроаккумулятора 5 мають аналогічну конструкцію, але з різницею тиску газового підпору в десятки разів. Це дозволяє збалансувати об'єми рідин у ємностях в статичному стані системи (рис. 5.45, а). Для побудови ЕННВ-приводу за змішаною схемою передачі потужності на колеса, використовується більш складна механічна трансмісія базового автомобіля або додаткові гідроагрегати.

Перевагою пневмогідравлічних систем в порівнянні з пневматичними, є їх замкнутий цикл і високий ККД гідравлічного агрегату. Істотним недоліком, що обмежує застосування ЕННВ-гібридів, є необхідний об'єм робочої рідини і відповідно її вага. До того ж слід додати габарити і масу балонів акумулятора 5 і резервуара 6.

Незаряджуваний пневмогібрид ЕНРВ за змішаною схемою отримав промисловий вихід на серійні автомобілі Citroen C4 Cactus Air Flow 2L та Peugeot 208 Hybrid Air 2L [81]. Композиція ГСУ складається з бензинового ДВЗ і гідравлічного привода з балонами гідроаккумулятора 1 і резервуара рідини 2 (рис. 5.46, а).

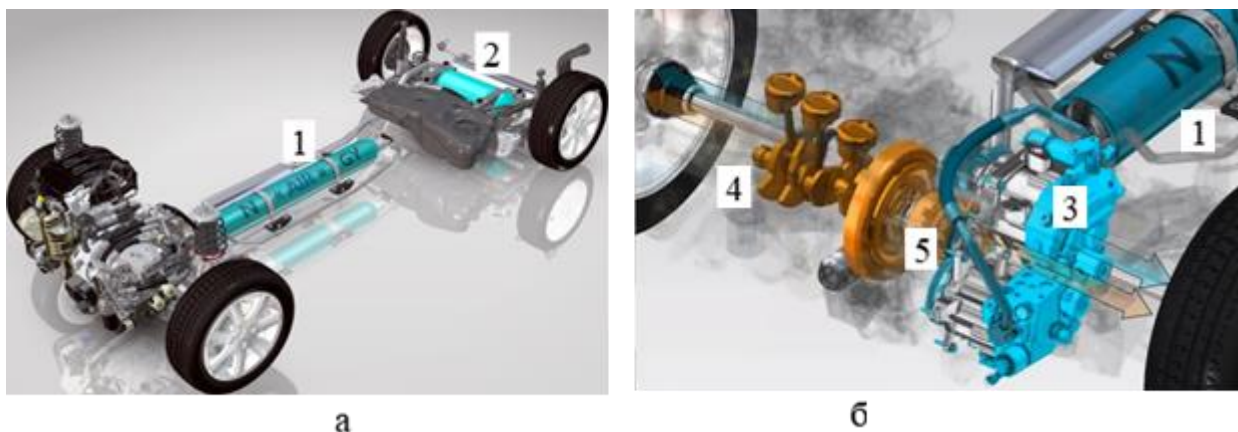


Рис. 5.46. Гібридна силова установка за технологією Hybrid Air:
а – компоновка силових агрегатів; б – устрій гібридного привода

Гідравлічний агрегат 3 з'єднаний з валом ДВЗ 4 через планетарну передачу 5, яка розміщена в АКП. У режимі гібридного приводу сумарний обертаючий момент від силових агрегатів 3 і 4 передається на вали передніх коліс через головну передачу моста. Рекуперативне гальмування і привід на пневматичній тязі здійснюється, описаним вище способом (див. рис. 5.45), тільки для переднього моста.

Енергія стисненого повітря в повністю зарядженому гідроаккумуляторі забезпечує запас ходу кілька кілометрів на швидкості до 70 км/год. На повному баку та повітряній заправці, пробіг гібридів становить 1300 км. Вага агрегатів гідравлічної трансмісії не перевищує 100 кг. Гібридні установки за умов міського циклу забезпечують економію палива до 45 %.

Пневмоелектричні заряджувані гібриди отримали назву PHEV (Pneumatic Hybrid Electric Vehicle), забезпечуються балонами високого тиску (до 300 бар) з заправним вузлом 1, редуктором 2 і ресивером 3 зниженого тиску [82]. Силова установка PHEV включає пневматичний двигун 4 і електричну машину 5 з живленням від тягової АКБ 6 (рис. 5.47).

Силові агрегати PHEV різних виробників мають свої особливості. Так, наприклад, в силовій установці *Energinie паралельного гібрида* з Південної Кореї, використовуються пневматичний конвертований двигун 4 і оборотна електрична машина 5, вали яких з'єднані між собою клиноремінною передачею 7 (рис. 5.47, а). Система керування ГСУ ієрархічної структури розподіляє потужність між силовими агрегатами залежно від умов руху автомобіля.

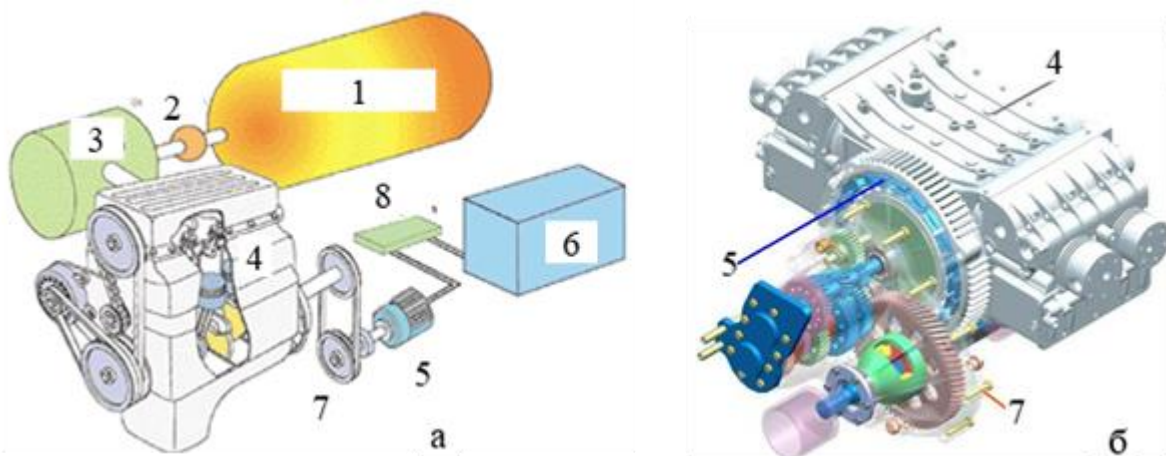


Рис. 5.47. Електропневматичні силові установки автомобілів:
а – фірми Energene; б – машин CAT's

На другому рівні ієрархії, ЕБК 8 керує електричною машиною 5 в статусах двигуна і генератора (рекуперація енергії гальмування в заряд АКБ).

При русі автомобіля з постійною швидкістю понад 20 км/год основним є електричний двигун, а стартує, набирає швидкість і долає підйоми автомобіль на пневматичній тязі. Гібрид Energene, тільки на пневматичній тязі розганяється і підтримує максимальну швидкість 120 км/год протягом години. Маса автомобіля складає 1260 кг, в тому числі: алюмінієвий корпус – 400 кг, обидва двигуни – 60 кг, повітряний 100-літровий балон – 40 кг. У машині застосовані Ni-MH тягові батареї з робочою напругою 280 В.

Силовий агрегат, побудований на базі чотирициліндрового пневмодвигуна Негре, встановлюється компанією MDI на автомобілі серії CAT [82]. Композиція ГСУ включає оборотний пневматичний агрегат 4, інтегровану оборотну електричну машину змінного струму 5 у складі трансмісії 7 (рис. 5.47, б). Система керування ГСУ, крім описаних функцій дозволяє здійснювати заправку балонів не тільки від компресорної станції, але і від побутової електромережі за допомогою пневмоагрегату 4 в статусі компресора, що приводиться в дію електромашиною 5, в статусі мотора.

Як підсумок, слід зазначити, що варіанти створення ГСУ не обмежені розглянутими прикладами. Технічний прогрес передбачає застосування альтернативних джерел енергії та нових способів її перет-

ворення, що дозволяють удосконалювати структуру силової установки автомобіля, а також методів і способів керування експлуатаційними режимами транспортних засобів.

Контрольні запитання

1. Поясніть переваги та недоліки застосування електричного приводу на автомобілі.
2. Наведіть порівняльну характеристику електричних двигунів різного типу, що до їх застосування в приводі автомобіля.
3. Поясніть структуру електричного приводу автомобіля під визначений тип електродвигуна.
4. Назвіть особливості конструкції електродвигунів за структурною ознакою.
5. Дайте загальну характеристику електроприводів автомобіля різних конструктивних композицій.
6. Поясніть улаштування та функціонування мотор-колів автомобіля різних конструктивних композицій.
7. Дайте загальну характеристику тягових акумуляторних батарей, які застосовуються в електроприводі автомобіля.
8. Поясніть схемні рішення перетворювачів напруги різного типу.
9. Дайте загальну характеристику методів керування електродвигунами різного типу.
10. Поясніть структуру системи керування вентильним асинхронним двигуном.
11. Поясніть структуру системи керування вентильним трьохфазним синхронним двигуном.
12. Поясніть функціонування системи керування електроприводом автомобіля у режимі рекуперації енергії.
13. Наведіть загальну класифікацію електрогібридних автомобілів.
14. Поясніть функціонування ГСУ за різними схемами передачі потужності.
15. Поясніть особливості структури системи керування ГСУ з електроприводом.
16. Поясніть функціонування силових кіл електроприводу з двома вентильними машинами в експлуатаційних режимах ГСУ.
17. Поясніть принцип дії пневмодвигуна конструкції Анджело Ді П'єтро.
18. Поясніть принцип дії пневмодвигуна конструкції Гая Негре.
19. Поясніть принцип дії пневмодвигуна конструкції Миколи Пустинського.
20. Поясніть функціонування системи керування пневмоприводом, що побудований на базі ДВЗ з механічним розподільником повітря.
21. Поясніть функціонування системи керування пневмоприводом, що побудований на базі ДВЗ з електромагнітними клапанами ГРМ.

22. Поясніть улаштування та функціонування електропневматичних ГСУ.
23. Поясніть функціонування системи керування ГСУ з роздільним пневмоприводом та ДВЗ.
24. Поясніть функціонування гібридної пневмотрансмісії з теплообмінником.
25. Поясніть функціонування ГСУ «Старт-стоп» з пневмоприводом.

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

АКБ – акумуляторна батарея;
АКП – автоматична коробка передач;
АТЗ – автотранспортні засоби;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
ВГ – відпрацьовані гази;
ВД – вимірювальні датчики;
ВЗ – вимикач запалювання;
ВК – вимикач кондиціонеру;
ВМ – віскомуфта;
ВМТ – верхня мертва точка;
ВП – виконавчі пристрої;
ВПП – кінцевий вимикач педалі гальм;
ВПЗ – кінцевий вимикач педалі зчеплення;
ГБО – газо-балонне обладнання;
ГМКП - гідромеханічні коробки перемикачів передач;
ГРМ – газорозподільний механізм;
ДАТ – датчик атмосферного тиску;
ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;
ДД – датчик детонації;
ДЗ – дросельна заслінка;
ДКК – датчик концентрації кисню;
ДКПР – датчик кутового положення ротора;
ДМВ – датчик моменту вприскування;
ДМВП – датчик масової витрати повітря;
ДПГФ – датчик положення голки форсунки;
ДПЕВ – датчик положення ексцентрикового валу;
ДППА – датчик положення педалі акселератора;
ДПДЗ – датчик положення дросельної заслінки;
ДПДМ – датчик положення дозуючої муфти;
ДПКВ – датчик положення колінчастого валу;
ДППГ – датчик положення педалі гальма;
ДПР – датчик положення ротора;
ДПРВ – датчик положення розподільного валу;
ДРПК – датчик розрядження у впускному колекторі;
ДПР – датчик положення рейки;
ДРП – датчик розрядження повітря;
ДРПП – датчик регулятора подачі палива;
ДСВП – датчик синхронізації вприскування палива;
ДСІ – датчик системи іммобілайзера;
ДТ – датчик тиску;
ДТОР – датчик температури охолоджуючої рідини;
ДТН – датчик тиску надування;
ДТП – датчик температури палива;

ДТПА – датчик тиску палива в акумуляторі;
ДТПВ – датчик температури повітря на впуску;
ДТПМ – тиску палива в магістралі;
ДЧО – датчик частоти обертання;
ДША – датчик швидкості автомобіля;
ЕБК – електронний блок керування;
ЕД – електродвигун;
ЕК – електроклапан;
ЕКДП – електроклапан дозатора палива;
ЕКВП – електроклапан відсічки палива;
ЕП – електропривод;
ЕПХХ – економайзер примусового холостого ходу;
ЕПЗП – електрично-програмований запам'ятовуючий пристрій;
ЕСК – електронна система керування;
ЗД – задній диференціал;
КВ – колінчастий вал;
КВН – контролер кола високої напруги;
КЗ – коротке замикання;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
КП – коробка передач;
КРТ – клапан розподільник тиску;
КСЗ – катушки системи запалювання;
КШМ – кривошипно-шатунний механізм;
МБ - механізм блокування;
МД – міжосьовий диференціал;
МКП – механічна коробка передач;
МНВТ – масляний насос високого тиску;
МР – механізм розподілу;
МС – мехатронна система;
МП – мікропроцесор;
МПП – механізм приводу;
ОР – охолоджуюча рідина;
ПД – передній диференціал;
ПЕК – п'єзоелектричний клапан;
ПГФ – п'єзогідравлічна форсунка;
ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори;
ПКДМ – привід керування дозуючою муфтою;
ПКМВ – привід керування моментом впорскування;
ПКР – привід керування рейкою;
ПНВТ – паливний насос високого тиску;
ПННТ – паливний насос низького тиску;
ПП - понижувальна передача;
ППС – паливо-повітряна суміш;
ПФ – паливна форсунка;
РВ – розподільний вал;

РК – роздавальна коробка;
РХХ – регулятор холостого ходу;
СЛ – сигнальна лампа;
СН – свічки накаливання;
СОД – система охолодження;
ТАБ – тягова акумуляторна батарея;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
ЦД – центральний диференціал;
ЧІМ – частото-імпульсна модуляція
ШІМ – широто-імпульсна модуляція;
ХХ – холостий хід;
ЕПХХ – економайзер холостого ходу;

ІНОЗЕМНІ АБРЕВІАТУРИ

- AB (Acceleration-Braking) – розгін гальмування (система);
ABS (Antilock Brake System) – анти-блокувальна система гальм;
AC (Alternatively Current) – змінний струм;
ACC (Active Cylinder Control) – система відключення циліндрів;
ACD (Active Central Differential) – активний центральний диференціал;
ACT (Active Cylinder Technology) – система керування активністю циліндрів;
ADD (Automatic Differential Disconnect) – автоматичне відключення диференціалу;
AFD (Active Front Differential) – активний передній диференціал;
ARB (Anthony Ronald Brown) бренд торгової компанії;
ASC (Automatic Stability Control) – автоматичне керування стабільністю;
AHE (Air Hybrid Engine) – повітряно-гібридний двигун;
ATC (Active Torque Control) – активний контроль обертаючого моменту;
ATTESA (Advanced Total Traction Engineering System for All-Terrain) – удосконалена загальна система тяги для всюдиходу (система повного приводу Nissan AWD);
AVS (Audi Valve lift System) – система керування підйомом клапанів автомобілів Аудіо;
AWC (All Wheel Control) – повний привід з керуванням (Mitsubishi);
AWD (All-Wheel Drive) – підключаємий повний привід;
AYC (Active Yaw Control) – активний контроль повороту навколо вертикальної осі (активний задній диференціал);
BLDC (Brush Less Direct Current) – вентильний двигун постійного струму;
BSD (Berkeley Software Distribution) – програмне забезпечення Берклі;
CAN (Controller Area Network) – мережа контролера, послідовний інтерфейс;
CAT (Compressed Air Technology) – технологія стисненого повітря;
CNG (Compressed Natural Gas) – стиснутий природний газ метан;
CVTC (Continuous Valve Timing Control) – система безперервного контролю фаз газорозподілу;
CR (Common Rail) – паливна система із загальною рампою (акумуляторна);
CRS (Composite Rocker System) – система складового коромисла;
CVVD (Continuously Variable Valve Duration) – система безперервного змінення тривалості відчиненого стану клапана;
DC (Direct Current) – постійний струм;
DCCD (Driver Controlled Center Differential) – керований центральний диференціал;
DDE (Digital Dyzel Electronic) – цифрова система керування дизельним двигуном;

DI (Direct Injection) – пряме вприскування (нерозділена камера дизеля);

DISA (Differentiated Air Intake System) – диференційна система впуску повітря;

DME (Digital Motor Electronic) – цифрова система керування бензиновим двигуном;

DoD (Displacement on Demand) – система переміщення на вимогу;

DPC (Dynamic Performance Control) – динамічний контроль продуктивності (активний задній диференціал);

DPS (Dual Pump System) – система з двома насосами;

DSG (Direct Shift Gearbox) –коробка передач прямого вмикання;

DTC (Dynamic Torque Control) – динамічний контроль обертаючого моменту;

DTV (Dynamic Torque Vectoring) – динамічна векторизація обертаючого моменту;

EBS (Electronic Braking System) – електронна система гальм;

ECH (Externally Charged Hybrid) – гібрид, який заряджається із зовні (пневматичний);

ECS (Electronic Clutch System) – електронна система зчеплення;

ECTED (Electronically Controlled Traction Enhancing Differentials) – диференціал підвищеного тертя з електронним керуванням;

ECLSD (Electronically Controlled Limited-slip Differential) – самоблокуваний диференціал з електронним керуванням;

EGR (Exhaust Gas Recirculation) – система рециркуляції відпрацьованих газів;

EML (Elektronische Motor Leistungsregelung) – Електронне регулювання потужністю двигуна;

ЕКМ (Elektronisches Kupplungspedal Motor) – система електронного зчеплення двигуна;

ELD (Electronic Locking Differential) – блокуваний диференціал з електронним керуванням;

ELS (Electronically Limited Slip) – електронне обмеження зчеплення;

ELSD (Electronically Limited Slip Differential) – диференціал з електронним обмеженням зчеплення;

EPS (Electric Power Steering) – електронна система керування електричним підсилювачем руля;

EREV (Extended-Range Electric Vehicle) – електричний автомобіль з розширеним діапазоном;

ESP (Electronic Stability Program) – електронна система (програма) курсової стійкості автомобіля;

ETC (Electronic Traction Control) – електронне керування трансмісією;

ENPV (Engine Hybrid Pneumatic Vehicle) – пневмогібрид з ДВЗ;

ЕННВ (Engine Hydraulic Hybrid Vehicle) – пневмогідравлічний гібрид з ДВЗ;

EVA (Electromagnetic Valve Actuator) – електромагнітний привід клапану;

EVAP (Evaporative Emission Control Petrol) – система утилізації випарів бензину;

GDI (Gasoline Direct Injection) – двигун з безпосереднім вприскуванням бензину в циліндри;

FF (Front Front) – переднє розміщення двигуна, привід на передні колеса;

FM (Frequency Modulation) – частотна модуляція;

FH (Full Hybrid) – повний гібрид;

FR (Front Rear) – переднє розміщення двигуна, привід на задні колеса;

FSI (Fuel Stratified Injection) – двигуни з безпосереднім вприскуванням палива фірми Volkswagen;

FWD (Front Wheel Drive) – привід на передні колеса;

IDI (Indirect Injection) – непряме вприскування (розділена камера згоряння дизеля);

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) – біполярний транзистор з ізольованим затвором;

ITM (Inter Active Torque Management) – активне керування крутним моментом;

MDI (Motor Development International) – міжнародний розвиток двигунів (компанія з виробництва пневмомобілів);

MDS (Multi-Displacement System) – система мульти-переміщення;

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) – польовий транзистор з ізольованим затвором (структура);

MOST (Multimedia Oriented System Transport) – мультимедійно орієнтована система на транспорті (шина передачі даних);

MH (Mixed Hybrid) – змішаний гібрид;

MSR (Motor Schleppmoment Regelung) – регулювання тягового моменту двигуна;

LD (Locking Differential) – блокований диференціал;

LIN (Local Interconnect Network) – локальна мережа зв'язку;

LPG (Liquefied Propane Gas) – зріджений пропан газ;

LSD (Limited-slip Differential) – диференціал обмеженого ковзання;

NRH (Non-Rechargeable Hybrid) – незаряджаємий гібрид (пневматичний);

OD (Open Differential) – вільний диференціал;

PMAC (Permanent Magnet Alternatively Current) – вентильний двигун змінного струму зі збудженням від постійного магніту;

PH (Parallel Hybrid) – паралельний гібрид;

PHEV¹ (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) – заряджаємий гібридний автомобіль з електроприводом;

PHEV¹ (Pneumatic Hybrid Electric Vehicle) – пневмоелектричний гібрид;

RWD (Rear Wheel Drive) – привід на задні колеса;

SAAB (Svenska Aeroplan Aktiebolaget) – Шведська компанія виробник автомобілів;

S-AWC (Super AWC) – система повного приводу AWC (Mitsubishi);

SCC (Saab Combustion Control) – система контролю згоряння двигуна Saab;

SD (Senso Drive) – безконтактне керування;

SH (Serial Hybrid) – послідовний гібрид;
 SH-AWD (Super Handling All-Wheel Drive) – супер керування повним приводом (Honda);
 SPI (Spark Plug Injection) – свічка впорскування;
 SS (Start-Stop) – старт-стоп (система);
 STD (Standard) – стандартна схема повного приводу;
 SVC (Saab Variable Compression) – двигун Saab зі змінням ступеню стиску у циліндрі;
 TDI (Turbocharged Direct Injection) – турбований дизельний двигун;
 TOD (Torque On Demand) – крутний момент на замовлення;
 TSI (Turbo Stratified Injection) – двигуни з безпосереднім впорскуванням палива та подвійним турбонаддувом фірми Volkswagen;
 TFSI (Turbo Fuel Stratified Injection) – турбований двигун з безпосереднім впорскуванням фірми Volkswagen;
 TVD (Torque Vectoring Differential) – диференціал з векторизацією обертаючого моменту (активний задній диференціал);
 TVS (Torque-Vectoring System) – система з векторизацією обертаючого моменту (активний задній диференціал);
 HEUI (Hydraulically actuated Electronically controlled Unit Injection) – насос-форсунки з гідравлічним приводом;
 VANOS (Variable Nockenwellensteuerung) – система зміннення розподільного валу;
 VD (Vector Drive) – векторне керування (активний задній диференціал);
 VCM (Variable Cylinder Management) – система керування відключенням циліндрів;
 VCR (Variable Compression Ratio) – зміннення ступеню стиску;
 VC-T (Variable Compression-Turbocharged) – двигун зі змінненням компресії і турбонадуванням;
 VGT (Variable Geometry Turbocharger) – турбокомпресор із змінною геометрією;
 VIS (Variable Induction System) – системи подачі повітря зі змінною геометрією впускного колектору;
 VNT (Variable Nozzle Turbine) – турбіна зі змінним соплом;
 VTEC (Variable Timing Electronic Control) – система електронного керування зі змінною синхронізацією;
 VTM (Variable Torque Management) – керування змінненням обертаючого моменту (Honda);
 VVL (Variable Valve Lift) – система зміннення підйому клапанів;
 VVEL (Variable Valve Event Lift) – система змінного підйому клапанів;
 VVT-i (Variable Valve Timing intelligent) – система інтелектуального регулювання фаз газорозподілу;
 4WD (4Wheel Drive) – повний привід на 4 колеса.

Примітка: ¹ – дивись контекст.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Човнюк Ю. В. Мехатроніка : навч. посіб. Київ, 2012. 357 с.
2. Fijalkowski B. T. Automotive Mechatronics. Operational and Practical Issues. Volume I. Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2011. 593 p.
3. Мехатронні системи автомобілів і тракторів: підручник / Р. В. Антощенков та ін. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2020 р. 219 с.
4. Мігаль. В. Д. Мехатронні та телематичні системи автомобіля: навч. посіб. : Харків: Майдан, 2017. 314 с.
5. Яким Р. С. Приводи транспортних машин: навчальний посібник [для студентів закладів вищої освіти]. Дрогобич : Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2020. 240 с.
6. Control methods for critical infrastructure and Internet of Things (IoT): підручник / Leonids Ribickis та ін. Рига: РТУ, 2021. 131 с.
7. Пиндус Ю. І., Заверуха Р. Р. Електричне та електронне обладнання автомобілів: навчальний посібник (частина II) / Тернопіль: ТНТУ, 2016. 163 с.
8. Супрун В. А., Дегтярьова Л. М. Використання мікроконтролерів для вдосконалення функцій приборів та систем. Новітні інформаційні системи та технології. Полтава: ПолтНТУ, 2018. № 9. С. 1–7.
9. Kuņicina, N. та ін.: підручник: Cyber-Physical Systems for Clean Transportation. Rīga: RTU Izdevniecība, 2021. 366 p.
10. Борошенко Ю. М., Дзюбенко О. А., Биков О. М. Діагностика мехатронних систем автомобіля: підручник: Харків: ХНАДУ, 2016. 320 с.
11. Осташевський С. А., Швець Р. М. Аналіз застосування різнотипних датчиків та систем в автомобільних транспортних засобах / Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Автомобіле- та тракторобудування, Харків : НТУ "ХПІ", 2015. № 9 (1118). С. 45–50.
12. Гнатов А. В. Електричні системи екологічно чистих АТЗ : конспект лекцій; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків, 2021. 71 с. URL: https://dSPACE.khadi.kharkov.ua/dSPACE/bitstream/123456789/4805/1/KL_el_sist_gnatov_21.pdf. (дата звернення 23.03.2023).
13. Сахно В. П., Савостін-Косяк Д. О. Форми організації моніторингу технічного стану транспортних засобів. Вісник Національного транспортного університету. 2017. №. 1. С. 373–380.

14. Лазарєва Н. М. Застосування бази знань сугено в моделі нечіткого керування складними об'єктами. «Сучасна молодь в світі інформаційних технологій»: матеріали. 2022. 120 с.

15. Стороженко О., Марченко А. Як працює нейронна мережа. *Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»*, (м. Черкаси, 26 квітня 2022 р) : ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. 2022. С. 243-245.

16. Сторчак К. П., Тушич А. М., Козелкова К. С., Степанов М. М. Інтелектуальний аналіз даних із використанням нейронних мереж. Зв'язок, 2018. № 4. С. 17–19.

17. Доценко Д. В. Застосування криптографії та нейронних мереж у кібербезпеці. The 13 th International scientific and practical conference “Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects” (June 19-21, 2022). MDPC Publishing, Berlin, Germany. 2022. 610 p.

18. Касілов О., Нікітіна Л., Борисова Л. Методи та системи штучного інтелекту: навчальний посібник. Харків : Видавництво Точка, 2021. 221 с.

19. Гуменюк К. В., Потапова Н. А. Штучні нейронні мережі: сутність та історія виникнення. Прикладні інформаційні технології. 2022. С. 101–103.

20. Denton T. Automobile electrical and electronic systems. Routledge, 5th Edition. London: 2017. 700 p.

21. Елементи електронних систем керування автомобільними двигунами: навч. посіб. для студентів ВУЗів / Клименко Л. П., Прищепов О. Ф., Андрєєв В. І., Голдун В. Ю. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. 132 с.

22. Inyección directa de gasolina con Bosch Motronic MED 7. URL: <https://docplayer.es/18970181-Inyeccion-directa-de-gasolina-con-bosch-motronic-med-7.html> (дата звернення 23.03.2023).

23. Які бувають клапани EGR. URL: <https://i-love-mycar.com/klapan-egr-golf-4/> (дата звернення 23.03.2023).

24. Engine Management Systems. URL: file:///C:/Users/user/Downloads/pps_941003_engine_management_systems_eng.pdf (дата звернення 23.03.2023).

25. New York Preview: Nissan to introduce new variable valve timing tech. URL: <https://www.autoblog.com/2007/04/01/new-york-preview-nissan-to-introduce-new-variable-valve-timing/> (дата звернення 23.03.2023).

26. Fiat's Multiair Valve-Lift System Explained. URL: <https://www.caranddriver.com/features/a16580674/fiats-multiair-valve-lift-system-explained/> (дата звернення 23.03.2023).

27. Система INA UNIAIR. URL: http://www.car-use.lv/99/InterCars/IC_1809_razhotaju_INA_Uniair_RU.htm (дата звернення 23.03.2023).

28. Empa team develops electrohydraulically actuated cam-less valve train; up to 20% fuel savings at low load. URL: <https://www.greencar-congress.com/2019/08/20190820-empa.html> (дата звернення 23.03.2023).

29. Free Valve Technology. URL: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:542744/FULLTEXT01> (дата звернення 23.03.2023).

30. Oyvind Gundersen. Free Valve Technology. Master of Science Thesis Stockholm, Sweden, 2009. 53 с.

31. Adam J. Feneley, Apostolos Pesiridis, Amin Mahmoudzadeh Andwari. Variable Geometry Turbocharger Technologies for Exhaust Energy Recovery and Boosting-A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 71, P. 954–958.

32. Exhaust Gas Recirculation (EGR) complete guide – architectures. URL: <https://x-engineer.org/exhaust-gas-recirculation-egr-architectures> (дата звернення 23.03.2023).

33. Cao D. T. et al. A brief review of technology solutions on fuel injection system of diesel engine to increase the power and reduce environmental pollution. Journal of Mechanical Engineering Research & Developments (JMERE). 2019. Т. 42, №. 1. С. 1–9.

34. Ястремський С. В., Данилюк І. П., Зінь І. В. Сучасні конструкції акумуляторних паливних систем дизелів з електрокерованими гідропривідними насос-форсунками. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2014. №. 1 (65). С. 241–248.

35. Zhu X. et al. HEUI injector modeling and ROI experiments for high injection pressure of diesel and dimethyl ether (DME). SAE Technical Paper, 2016. №. 2016-01-0855.

36/41. Common Rail Injection System Pressure Control. URL: https://dieselnet.com/tech/diesel_fi_common-rail_control.php (дата звернення 23.03.2023).

37. What Is A Four-Wheel Drive System And How Does It Work? URL: <https://www.scienceabc.com/innovation/what-is-a-four-wheel-drive-system-and-how-does-it-work.html> (дата звернення 23.03.2023).

38. Fernando N. A field modulated electromagnetic clutch with slip control. 2016 IEEE 2nd Annual Southern Power Electronics Conference (SPEC). IEEE, 2016. С. 1–6.

39. What is the Haldex clutch and rear differential service interval? URL: <https://www.4x4parte.com/en/m/zavady-a-servis-haldexu-30/> (дата звернення 23.03.2023).

40. Was ist ein BMW transfer box – xDrive. URL: <https://cutietransfer.ro/de/articol/was-ist-ein-bmw-transfer-box-xdrive/> (дата звернення 23.03.2023).

41. Arens W., Mendes C., Junior R. M. On the Fuel Economy Benefits of “Coasting”, Realized by an Electronic Clutch System. – SAE Technical Paper, 2016. №. 2016-36-0455.

42. Вариатор чи автомат (АКПП): Чим вони відрізняються? URL: <https://akpp-expert.com.ua/ua/blog/variator-vs-akpp> (дата звернення 23.03.2023).

43. Принцип дії вариатора. URL: <https://poradumo.com.ua/331652-p-671/> (дата звернення 23.03.2023).

44. What is Differential? Types of Differentials, Function & How They Work. URL: <https://engineeringlearn.com/what-is-differential-types-of-differentials-function-how-they-work-with-pictures/> (дата звернення 23.03.2023).

45. Eaton ELocker™ Differential Operating & Installation Instructions. URL: [https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/differentials-traction-control/elocker/ELocker Installation Instructions July 2004.pdf](https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/differentials-traction-control/elocker/ELocker%20Installation%20Instructions%20July%202004.pdf) (дата звернення 23.03.2023).

46. Mitsubishi Outlander: General Information. URL: https://www.mioutlander.com/general_information-1656.html (дата звернення 23.03.2023).

47. Mitsubishi AYC/ACD system. URL: <https://www.techtips.ie/Blue-Print/mitsubishi-aycacd-system-1.pdf> (дата звернення 23.03.2023).

48. What is Active Yaw Control (AYC)? What are the benefits and how does it work? URL: <https://www.lancerregister.com/threads/what-is-active-yaw-control-ayc-what-are-the-benefits-and-how-does-it-work.593091/> (дата звернення 23.03.2023).

49. DCCD Subaru STi Explained. URL: <https://subaruidiots.com/dccd-subaru-sti-explained/4/> (дата звернення 23.03.2023).

50. Acura SH-AWD: A Comprehensive Analysis. URL: <http://youwheel.com/home/2017/05/07/acura-sh-awd-a-comprehensive-analysis/> (дата звернення 23.03.2023).

51. Analysis: AWD System of the Mitsubishi Lancer Evolution X. URL: <http://youwheel.com/home/2017/04/15/analysis-awd-system-of-the-mitsubishi-lancer-evolution-x/> (дата звернення 23.03.2023).

52. Добровольський О. С., Ступак Н. С. Доцільність переведення автомобільного парку на газове паливо. Вісник Національного транспортного університету. 2017. №. 1. С. 124–132.

53. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Трунова І. С. Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник. Харків : ХНАДУ, 2016. 292 с.

54. Гнатов А. В. Прогресивні технології на автомобільному транспорті: конспект лекцій : М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків, 2020. 185 с. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/4838> (дата звернення 23.03.2023).

55. Kravchenko M. B. Application of the Open Cycle Stirling Engine Driven with Liquid Nitrogen for the Non-Polluting Automobiles / Refrigeration Engineering and Technology. 2017. Т. 53, №. 5. С. 23-32.

56. Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. / Hnatov A. V., Arhun S. V., Hnatova H. A., Sokhin P. A. Автомобільний транспорт. Харків : ХНАДУ, 2021. Вип. 49. С. 71-78.

57. A review on electric vehicles: Technologies and challenges. / Sanguesa J. A. et al. Smart Cities, 2021. 4(1), P. 372-404.

58. Гнатов А. В. Будова гібридних автомобілів і електромобілів: конспект лекцій; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків, 2021. 72 с. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/4797/1/KL_Bydova_avto_Gnatov_21.pdf (дата звернення 23.03.2023).

59. Стеблина Д. В. Технологія бездротової передачі електроенергії та її продукування за рахунок потенціалу електромагнітного поля землі. / Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті: В 42 матеріали ХХІ міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 14-15 травня 2020 р.). Київ : Інтерсервіс, 2020. 823 с.

60. Батарея електромобіля: як вона влаштована. URL: <https://gotou.com/ua/news/how-electric-car-batteries-work> (дата звернення 23.03.2023).

61. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Гнатова Г. А. Тягові характеристики силової установки електробуса. Науковий вісник Херсонської державної морської академії. 2019. Т. 2, №. 21. С. 36-43.

62. Далека В. Х., Кульбашна Н. І., Кузнецов А. І. Інформаційні технології в підвищенні енергоефективності електричних машин. Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. Серія : Технічні науки та архітектура. Харків: ХНУГХ ім. О. М. Бекетова, 2020. Вип. 157. С. 172-177

63. Patlins A., Hnatov A., Arhun S., Hnatova H., & Saraiev O. Features of converting a car with an internal combustion engine in to an electric car. In 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON), (Kyiv, May, 2022). 2022. pp. 1-6. IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830183> .

64. Гнатов А. В. Теорія електроприводу: курс лекцій. Ч. 2. М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків, 2021. 97 с. URL:

https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/4836/1/KL_teor_elektropr_gnatov_21.pdf (дата звернення 23.03.2023).

65. Гнатів А. В. Теорія електроприводу. Ч.1: конспект лекцій : М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Механічні характеристики електропривода постійного та змінного струму. Харків, 2020. 144 с. URL:

https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/4837/1/KL_teor_elektropr_gnatov_20.pdf (дата звернення 23.03.2023).

66. Protean electric's in-wheel motors could make EVS M. URL: <https://spectrum.ieee.org/protean-electrics-inwheel-motors-could-make-evs-more-efficient> (дата звернення 23.03.2023).

67. In-wheel electric motors. URL: [https://www.proteanelectric.com/wp-content/uploads/2018/04/In Wheel Electric Motors AFraser ProteanV4.pdf](https://www.proteanelectric.com/wp-content/uploads/2018/04/In-Wheel-Electric-Motors-AFraser-ProteanV4.pdf) (дата звернення 23.03.2023).

68. Сінчук О. М., Козакевич І. А., Юрченко М. М. Бездатчикове керування вентиляними реактивними двигунами тягових електромеханічних систем. Технічна електродинаміка. 2017. № 5. С. 62–66.

69. Косенко Р. А. Моделювання системи векторного керування асинхронним двигуном. Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2014. №. 1. С. 215–223.

70. Гнатів А. В., Аргун І. В. Енергозберігаючі технології на транспорті : конспект лекцій: М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків, 2021. 142 с. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/4809/1/KL_energ_ozber_gnatov_21.pdf (дата звернення 23.03.2023).

71. Рогозін І. В., Новічонок С. М., Гнатів А. В., Рогозіна А. І. Спосіб розрахунку основних параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих автотранспортних засобів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. Харків: ХНАДУ, 2018. № 13. С. 5–12.

72. Розробка комбінованої енергетичної установки на базі пневмодвигуна з використанням поновлювальних джерел енергії для міського автотранспорту. Заключний: науково-дослідна робота / Гнатів А. В., Аргун І. В. та ін. Харків : ХНАДУ, 12.2022. № держреєстрації 0121U109611. 321 с.

73. Воронков О. І. Методологія організації робочого процесу пневмодвигуна комбінованої енергетичної установки міського автомобіля: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.05.03 “Двигуни та енергетичні установки” / Воронков Олександр Іванович; Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Харків, 2017. 42 с.

74. Marvania D., Subudhi S. A comprehensive review on compressed air powered engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. T. 70. C. 1119–1130.

75. Korbut M., Szpica D. A review of compressed air engine in the vehicle propulsion system. *Sciend. Acta Mechanica et Automatica*, 2021. Vol. 15, № 4. P. 215–226.

76. Amey D. More1. Air Powered Vehicle. // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Volume: 08 Issue: 09 | Sep 2021. P. 1776–1782. URL: <https://www.irjet.net/archives/V8/i9/IRJET-V8I9283.pdf> (дата звернення 23.03.2023).

77. Zwierzchowski J. Design type air engine Di Pietro. *EPJ Web of Conferences*. EDP Sciences, 2017. T. 143. C. 02149.

78. Wasbari F. et al. A review of compressed-air hybrid technology in vehicle system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. T. 67. C. 935–953.

79. Бороденко Ю. М., Панасовський В. В. Побудування схеми пневматичного мікрогібрида. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» 27-29 жовтня 2021 р. Харків: ХНАДУ, 2021. С. 355–358.

80. Dimitrova Z., Maréchal F. Gasoline hybrid pneumatic engine for efficient vehicle powertrain hybridization. *Applied Energy*. 2015. T. 151. C. 168–177.

81. Nie C. et al. Pipe architecture optimization of the parallel Hydraulic-pneumatic hybrid system using a hydraulic transformer. *Energy Conversion and Management*. 2022. T. 266. C. 115858.

82. Далека В. Х., Будниченко В. Б., Дзюбенко О. А. Оцінка енергетичних показників електроприводу компресора електричного транспорту. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. Харків : ХНАДУ, 2020. № 17. С. 85–93.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
ВСТУП.....	4
1. Загальна характеристика мікропроцесорних систем керування.	8
1.1. Особливості будови мехатронних систем.....	8
1.2. Призначення і класифікація систем керування.....	10
1.3. Атрибути периферійних пристроїв.....	18
1.4. Структура електронного блоку керування.....	20
1.5. Моніторинг параметрів та стратегія керування.....	24
1.6. Способи реалізації алгоритмів керування.....	27
<i>Контрольні запитання</i>	35
2. Мехатронні системи бензинових ДВЗ.....	37
2.1. Класифікація і моделі систем.....	37
2.2. Характеристика датчиків і виконавчих пристроїв.....	45
2.3. Способи реалізації керуючих впливів.....	53
2.4. Устрій і функціонування систем впорскування палива.....	68
2.5. Системи газорозподілу промислових зразків.....	78
2.6. Побудування комплексних систем керування.....	97
2.7. Особливості будови газових паливних систем.....	104
<i>Контрольні запитання</i>	111
3. Особливості будови мехатронних систем дизельних ДВЗ.....	113
3.1. Особливості конструкції і робочих процесів у дизелях.....	113
3.2. Устрій апаратів високого тиску.....	125
3.3. Устрій паливних систем.....	145
3.4. Побудування комплексних систем керування дизелями.....	154
<i>Контрольні запитання</i>	164
4. Структура мехатронних систем трансмісії.....	166
4.1. Структура і класифікація тягового привода автомобіля.....	166
4.2. Устрій передаточних муфт і роздаткових коробок.....	175
4.3. Системи зчеплення і коробок передач.....	185
4.4. Застосування диференціалів різної будови.....	196
4.5. Побудування мехатронних систем повного приводу AWD... ..	208
<i>Контрольні запитання</i>	216
5. Застосування альтернативних приводів з електронним керуванням.....	218
5.1. Концепції розвитку автомобільного транспорту.....	218
5.2. Склад і структура електричного приводу автомобіля.....	228

5.3. Застосування вентильних електричних машин.....	239
5.4. Структура електричних гібридних силових установок.....	246
5.5. Використання пневматичного приводу.....	255
5.6. Композиції пневматичних гібридних силових установок.....	267
Контрольні запитання	281
 ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ.....	283
ІНОЗЕМНІ АБРЕВІАТУРИ.....	286
ЛІТЕРАТУРА.....	290

Навчальне видання

БОРОДЕНКО Юрій Миколайович
ГНАТОВ Андрій Вікторович
АРГУН Щасяна Валіковна

МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛЯ

Частина 1. Силовий привід

Підручник

Відповідальний за випуск *А. В. Гнатов*

Комп'ютерна верстка *Ю. М. Бороденко*

В авторській редакції

Дизайн обкладинки *Д.Ю. Нерівні*

План 2023 р., поз. 6 (п.)
Підписано до друку 9.09.2023 р. Формат 60×84 1/16.
Гарнітура Times New Roman Cyr.
Ум. друк. арк. 69,7. Обл.-вид. арк. 72,2.
Зам. № 31/23-В. Наклад сайт.

ВИДАВНИЦТВО

Харківського національного автомобільно-дорожнього університету
Видавництво ХНАДУ, 61002, Харків-МСП, вул. Ярослава Мудрого, 25.
Тел. /факс: (057)700-38-64; 707-37-03,
e-mail: rio@khadi.kharkov.ua

*Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення та
радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції,
серія № ДК №897 від 17.04 2002 р.*

