

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

«Електронні системи керування транспортними засобами»

для студентів спеціальності 133

«Галузеве машинобудування»

(«Колісні та гусеничні транспортні засоби»),
усіх форм навчання

Частина 2 - змістовий модуль 1.

Розвиток електричних систем автомобіля

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби») усіх форм навчання. Частина 2 - змістовий модуль 1. Розвиток електричних систем автомобіля/ Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 104 с.

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

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

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

Затверджено
на засіданні кафедри «Автомобілі»
Протокол № 8
від « 30 » червня 2020.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 88
від « 31 » серпня 2020.

ЗМІСТ

Частина 2

Вступ	84
Тематичний план лекційних занять	85
Лекція № 4. Батареї та системи заряду транспортних засобів	88
Лекція № 5. Системи подачі палива	111
Лекція № 6. Системи запалювання	128
Лекція № 7. Електронне керування роботою двигуна внутрішнього згоряння	150
Рекомендована література	180
Базова	180
Допоміжна	180
Інформаційні ресурси	184

ВСТУП

Стрімке вдосконалення систем автомобільної електроніки та систем упорскування палива, спрямованих на значне зниження шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобіля, все більше застосування електроніки в роботі допоміжних систем транспортних засобів, вдосконалення електронного обладнання кузовних систем та шасі автомобіля, змусили авторів цього курсу повністю переглянути і переробити розроблену раніше структуру дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами».

В даному курсі лекцій в основному викладаються загальні принципи устрою електричних і електронних систем, властивілюбим моделям автомобілів різних виробників. Особливості конструкції вузлів і агрегатів конкретних моделей автомобілів наведені лише для ілюстрації. Поряд з описом сучасних систем електрообладнання та електронних систем, в курсі лекцій приділено увагу і більш старим електронним пристроям, оскільки сотні тисяч старих моделей автомобілів все ще знаходяться в експлуатації в Україні.

Оскільки даний курс лекцій «Електронні системи керування транспортними засобами» являє собою спеціалізований курс, необхідний для практичної діяльності майбутнього інженера-механіка з освітньою спеціалізацією «Колісні та гусеничні транспортні засоби», в ньому розглянуті як загальні питання і відомості про електронне обладнання транспортних засобів, так і питання їхньої подальшої діагностики і технічного обслуговування під час експлуатації.

Окрему увагу приділено гібридним автомобілям і електромобілям: розглянуті методи та шляхи оснащення транспортних засобів сучасними системами тягового електроприводу, системами автоматичного управління гібридних систем з послідовною, паралельною і комбінованою енергетичними установками. Розглянуті методи підвищення ефективності використання гібридних автомобілів і підвищення екологічності, з урахуванням досягнень вітчизняної та світової науки в галузі машинобудування.

Враховуючи вищесказане, слід зазначити що для вивчення даної дисципліни необхідні глибокі знання загальноосвітніх інженерних дисциплін, таких, як фізика, електротехніка, електроніка, інформатика, а також знання устрою двигуна внутрішнього згорання і процесів, що відбуваються в двигуні.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Загальний об'єм курсу становить 30 годин і складається з двох змістових модулів. Даний конспект лекцій дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» складається з шести частин, і розроблений відповідно до:

Робоча програма з дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» для студентів за напрямом підготовки 6.050503 – «Машинобудування», спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби), усіх форм навчання. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 23 с.

Нижче наведено назву змістового модуля дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами», найменування тем лекційних занять в модулі і вказано кількість годин аудиторних занять, для студентів денної форми навчання, окремо для кожної лекції.

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

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

Методичні вказівки з вивчення дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби»), усіх форм навчання / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 62 с.

Змістовий модуль 1. Розвиток електричних систем автомобіля.

Тема 1. Вступ до курсу. Розвиток електричної системи автомобіля (2 год.)

Предмет і завдання дисципліни. Структура курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами. Коротка історія розвитку електричної системи автомобіля. Сучасні розробки та можливі напрямки розвитку автомобільних електронних систем.

Тема 2. Основи електротехніки та електроніки (2 год.)

Потік електронів і умовний напрямок струму. Фундаментальні залежності. Електричні ланцюги і резистори. Магнетизм і електромагнетизм. Електромагнітна індукція. Основні закони електрики. Електронні компоненти й схеми.

Тема 3. Системи обміну даними в автомобілі (2 год.)

Необхідність шинних систем. Структури шин даних. Основні принципи цифрової передачі даних. Шина даних CAN. Передача сигналів. Процес комунікації. Діагностика. Шина даних LIN. Оптичні шинні системи для передачі даних. Передача сигналів через світловоди. Шина даних MOST. Діагностика шини даних MOST. Шина Byteflight.

Тема 4. Батареї та системи заряду транспортних засобів (2 год.)

Вимоги до батарей. Правильний вибір батареї. Розташування батареї на транспортному засобі. Свинцево-кислотні батареї: конструкції, класифікація, сила струму і ємність, обслуговування і зарядка. Діагностика несправностей батарей. Розробки в області накопичення електричної енергії. Вимоги до систем зарядки батарей. Принципи побудови системи зарядки. Нові розробки в системах зарядки батарей.

Тема 5. Системи подачі палива (2 год.)

Процес згоряння палива в двигуні із запалюванням від іскри. Діапазон і швидкість горіння. Детонація. Передчасне займання. Конс-

трукція камери згоряння. Концентрація суміші і якість роботи двигуна. Двигуни із запалюванням від стиснення. Конструкція камери згоряння дизельного двигуна. Постачання двигуна паливом і шкідливі викиди. Електронне керування карбюратором. Впорскування палива. Короткий огляд систем впорскування. Впорскування дизельного палива. Електронне керування дизельним впорскуванням. Технологія спалювання бідних сумішей (Mazda). Система Common rail.

Тема 6. Системи запалювання (2 год.)

Функціональні вимоги. Типи систем запалювання. Кут випереження (регулювання моменту запалення). Споживання палива і склад вихлопних газів. Компоненти класичної системи запалювання. Електронне запалювання. Генератор імпульсів на основі ефекту Холла. Конденсаторна система запалювання. Програмне запалювання. Системи запалювання без розподільника. Пряме запалювання (котушка на свічі). Свічі запалювання.

Тема 7. Електронне керування роботою двигуна внутрішнього згоряння (2 год.)

Об'єднане керування запаленням і подачею палива. Вплив конструкції двигуна на обсяг шкідливих викидів. Каталітичні конвертери (нейтралізатори). Лямбда-контроль в замкнутому контурі керування. Контроль вихлопу дизеля. Система Cartronic компанії Bosch. Система GDI (Mitsubishi). Система Bosch Motronic M3. Безпосереднє впорскування палива (Bosch). Напрямки вдосконалення систем керування двигуном.

ЛЕКЦІЯ № 4. БАТАРЕЇ ТА СИСТЕМИ ЗАРЯДУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

План лекції. Вимоги до батарей. Правильний вибір батареї. Розташування батареї на транспортному засобі. Свинцево-кислотні батареї: конструкції, класифікація, сила струму і ємність, обслуговування і зарядка. Діагностика несправностей батарей. Розробки в області накопичення електричної енергії. Вимоги до систем зарядки батарей. Принципи побудови системи зарядки. Нові розробки в системах зарядки батарей.

Література: [4] - [7], [9] - [11], [28], [44], [52].

Акумуляторна батарея забезпечує електропостачання електростартера при пуску двигуна, а також електропостачання інших споживачів електроенергії на автомобілі й тракторі при непрацюючому генераторі або його недостатній потужності. В іншому випадку акумуляторна батарея працює паралельно з генератором. Основним споживачем енергії акумуляторної батареї є електростартер. Робота в стартерному режимі визначає тип і конструкцію акумуляторних батарей і виділяє їх в особливий клас стартерних батарей.

На автомобілях і тракторах в якості стартерних застосовуються свинцеві акумуляторні батареї. По конструктивно-функціональній ознаці розрізняють батареї:

- звичайної конструкції - у моноблоці з комірковими кришками й міжелементними перемичками над кришками;
- у моноблоці із загальною кришкою й міжелементними перемичками під кришкою;
- необслуговувані - із загальною кришкою, які не потребують технічного обслуговування в експлуатації (термін «необслуговувані акумуляторні батареї» - умовний, так як обслуговувати їх в експлуатації треба, хоча і в значно меншому обсязі).

Працюючи паралельно з генераторною установкою, акумуляторна батарея усуває перевантаження генератора й перенапруги в системі електроустаткування. Після розряду на електростартер та інші споживачі електроенергії, акумуляторна батарея підзаряджається від генераторної установки з певним рівнем регульованої напруги. Генерація

ратор повинен відновити енергію, віддану батареєю при розряді. Чергування режимів розряду й заряду (циклування) - одна з характерних рис роботи акумуляторних батарей на автомобілях і тракторах.

Акумуляторна батарея є не тільки елементом систем електропостачання й електростартерного пуску, але й складовою частиною інших систем в електроустаткуванні.

Умови, в яких працює акумуляторна батарея, залежать від типу, призначення й кліматичної зони експлуатації, а також від місця її установки на автомобілі й тракторі. На експлуатаційну надійність і термін служби батареї впливають температура навколишнього середовища, рівень вібрації й тряски, періодичність, обсяг і якість технічного обслуговування, параметри стартерного розряду, сила струмів і тривалість розряду й заряду при циклуванні, рівень надійності й справності електроустаткування, тривалість роботи й перерв в експлуатації. Стартерні свинцеві акумуляторні батареї можуть експлуатуватися при температурі довкілля від -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$ (акумуляторні батареї групи I) і від -50°C до $+60^{\circ}\text{C}$ (батареї групи II). При цьому робоча температура електроліту повинна бути не вище $+50^{\circ}\text{C}$.

При підвищенні температури електроліту батареї руйнуються електроди, прискорюється сульфитація. Для зменшення хімічної активності електроліту його щільність у жарких і теплих вологих кліматичних районах знижують до $1,25\text{--}1,27\text{ г/см}^3$. Ріст температури викликає інтенсивний випар води з електроліту. Під дією сонячних променів і високої температури в батареях звичайної конструкції зменшується міцність ебонітових моноблоків, кришок і герметизуючої мастики.

При низьких температурах герметизуюча мастика втрачає еластичність, розтріскується й відшаровується від поверхні кришок і моноблоків. Моноблоки, кришки й пробки стають крихкими. При таненні снігу на поверхні батареї утворюється волога. Лід на поверхні пробок може закрити вентиляційні отвори. При недостатній щільності електроліту й значній розрядженості батареї можливе замерзання електроліту. Тому батареї, експлуатовані при низьких температурах, рекомендується заповнювати електролітом більшої щільності ($1,29\text{--}1,31\text{ г/см}^3$) і тримати в зарядженому стані.

Низькі температури значно погіршують умови заряду акумуляторних батарей. Вже при температурі -10°C розряджена на 50 % батарея може бути заряджена тільки на 60–65 % номінальній ємності. В умовах зимової експлуатації збільшується число включених спожива-

чів. Різко зростає сила струму, споживаного електростартером.

Усе це утрудняє забезпечення позитивного зарядного балансу батареї на автомобілі. При температурі нижче -10°C для підтримки батареї в зарядженому стані необхідно підвищувати регульовану напругу генераторної установки. Зарядна напруга повинна відповідати значенню, зазначеному в технічному описі й інструкції для експлуатації. Максимальна регульована напруга генераторної установки не повинна перевищувати 15,5 і 31,0 В відповідно для 12 і 24-вольтних систем електроустаткування.

Висока механічна міцність, достатній термін служби, необхідна ємність при невеликих розмірах і масі, працездатність у широкому діапазоні температур і значень сили розрядного струму, невеликі втрати енергії при тривалій бездіяльності, мінімальний внутрішній опір і внутрішнє спадання напруги при великій силі струму розряду в стартерному режимі - це не повний перелік вимог до стартерних акумуляторних батарей на автомобілі або тракторі.

Акумуляторні батареї повинні витримувати короточасні розряди стартерними струмами великої сили без руйнування електродів і погіршення характеристик при подальшій експлуатації, а також мати достатній запас енергії для живлення споживачів у випадку виходу з ладу генераторної установки й для інших потреб, що виникають в аварійних ситуаціях.

До акумуляторних батарей на тракторах повинен бути забезпечений вільний доступ для огляду й технічного обслуговування. Акумуляторні батареї розміщують ближче до стартера з метою зменшення довжини стартерного проводу й спадання напруги на ньому. Масовий провід батареї кріплять до двигуна або твердої рами.

Рівень вібрації в місцях установки акумуляторних батарей не повинен перевищувати $1,5g$ (прискорення $14,7 \text{ м/с}^2$) у діапазоні частот до 60 Гц. Допускається короточасне вібраційне навантаження при прискоренні 49 м/с^2 ($5g$) із частотою до 30 Гц. При вібрації й трясці батарея не повинна переміщатися по опорному майданчику. Посадкові місця повинні мати амортизатори й амортизаційні прокладки.

Саморозряд зарядженої батареї, крім необслугованої, після бездіяльності протягом 14 діб при температурі навколишнього середовища не повинен перевищувати 10 %, а після бездіяльності протягом 28 діб 20 % номінальної. Саморозряд батареї, що не потребує постійного обслуговування, після бездіяльності протягом 90 діб не повинен пере-

вищувати 10 % номінальної ємності, а після бездіяльності протягом року - 40 %.

Мінімальний термін служби акумуляторної батареї в експлуатації вважається до моменту зменшення розрядної ємності нижче 40 % номінальної ємності або зниження тривалості стартерного розряду до 1,5 хв. при температурі $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ до кінцевої розрядної напруги 4,5 і 9,0 В відповідно для 6 і 12 вольтих батарей.

Мінімальний термін служби батарей звичайної конструкції із загальною кришкою, в експлуатації повинен становити один рік при наробітку транспортного засобу не більше 90 тис. км пробігу.

Мінімальний термін служби необслуговуваних батарей, в експлуатації повинен складати три роки при напрацюванні транспортного засобу не більше 100 тис. км пробігу.

Гарантійний термін зберігання не залитих електролітом батарей - три роки з моменту виготовлення. Гарантійний термін зберігання сухозаряджених батарей - один рік з моменту виготовлення. Для необслуговуваних батарей, залитих електролітом, встановлюється термін зберігання два роки за умови проміжного заряду в межах мінімального терміну служби.

Хімічне джерело струму повинне задовольняти наступним вимогам:

- максимальна ЕРС електрохімічної системи;
- максимальна кількість електричної енергії, що знімається з одиниці маси або об'єму;
- мінімальний саморозряд;
- максимальний термін служби;
- мінімальна вартість матеріалів і виготовлення;
- можливість забезпечення роботи в найбільш широких температурних межах.

Принцип дії свинцевого акумулятора.

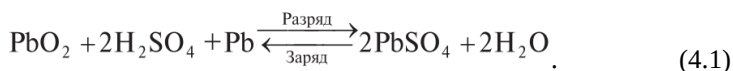
Акумуляторні батареї є вторинними хімічними джерелами струму, які можуть використовуватися багаторазово. Активні речовини, витрачені в процесі розряду, відновлюються при наступному заряді. При протіканні розрядної хімічної реакції в акумуляторі негативний електрод окислюється, а позитивний відновлюється. При окисдуванні відбувається віддача електронів, при відновленні - приєднання електронів.

У свинцевому акумуляторі у струмоутворюючих процесах беруть участь діоксид свинцю PbO_2 (окиснювач) позитивного електроду, губчатий свинець Pb (відновник) негативного електроду й електроліт - водняний розчин сірчаної кислоти H_2SO_4 . Активні речовини електродів являють собою відносно тверду електронопровідну масу з діаметром пор 1-5 мкм у діоксиду свинцю й 5-10 мкм у губчатого свинцю. Об'ємна пористість активних речовин у зарядженому стані становить близько 50 %. Частина сірчаної кислоти в електроліті дисоційована на позитивні іони водню H^+ і негативні іони кислотного залишку SO_4^{2-} .

Губчатий свинець при розряді акумулятора виділяє в електроліт позитивні іони двовалентного свинцю Pb^{2+} . Надлишкові іони негативного електроду по зовнішній ділянці замкненого електричного ланцюга переміщуються до позитивного електрода, де відновлюють чотиривалентні іони свинцю Pb^{4+} до двовалентного свинцю Pb^{2+} . Позитивні іони свинцю Pb^{2+} з'єднуються з негативними іонами кислотного залишку SO_4^{2-} , утворюючи на обох електродах сірчаноокислий свинець PbSO_4 (сульфат свинцю).

При підключенні до зарядного пристрою електрони рухаються до негативного електрода, нейтралізуючи двовалентні іони свинцю Pb^{2+} . На електроді виділяється губчатий свинець Pb . Віддаючи під впливом напруги зовнішнього джерела струму по два електрони, двовалентні іони свинцю Pb^{2+} у позитивного електрода окиснюються в чотиривалентні іони Pb^{4+} . Через проміжні реакції іони Pb^{4+} з'єднуються із двома іонами кисню й утворюють діоксид свинцю PbO_2 .

Хімічні реакції у свинцевому акумуляторі описуються рівнянням подвійної сульфатації:



Зміст в електроліті сірчаної кислоти й щільність електроліту зменшуються при розряді й збільшуються при заряді. Утворі води при розряді відбувається у позитивного електрода, у результаті щільність електроліту у позитивних електродів падає швидше, ніж у негативних.

При заряді сірчана кислота утворюється у позитивного електрода, тому щільність електроліту у позитивного електрода росте швидше, ніж у негативного. На 1 А·год електричної ємності витрачається: при розряді - 3,86 г свинцю, 4,44 г діоксиду свинцю, 3,67 г сірчаної

кислоти, а при заряді - 0,672 г води, 11,6 г сульфату свинцю.

Витрата кислоти в позитивних електродах більша, ніж у негативних. Якщо враховувати кількість води, що утворюється в позитивних електродах, то кількість кислоти, необхідної для них у плінні розряду, в 1,6 рази більше, ніж для негативних. Це є основною причиною того, що сепаратор з боку позитивного електрода має жолоби з метою збільшення обсягу кислоти близько такого електрода. При заряді відбувається незначне збільшення об'єму електроліту, а при розряді - зменшення. По щільності електроліту можна судити про ступінь розрядженості ΔC_p (%) свинцевого акумулятора:

$$\Delta C_p = 100(\rho_3 - \rho_{25})/(\rho_3 - \rho_p), \quad (4.2)$$

де ρ_3 і ρ_p - щільність електроліту відповідно повністю зарядженого й повністю розрядженого акумуляторів при температурі 25°C, г/см³ ($\rho_3 - \rho_p = 0,16$ г/см³);

ρ_{25} - виміряна щільність електроліту, наведена до щільності при температурі 25°C, г/см³ (далі щільність, наведена до температури).

Для приведення щільності електроліту до температури 25°C використовують формулу:

$$\rho_{25} = \rho_t - 0,0007(25 - t), \quad (4.3)$$

де t - температура електроліту в момент виміру щільності.

Ступінь розрядженості батареї по виміряній щільності визначають із урахуванням початкової щільності електроліту повністю зарядженої батареї (табл. 4.1). Батареї, ступінь розрядженості яких більше 50 % улітку й 25 % узимку, необхідно зняти з експлуатації й зарядити в стаціонарних умовах.

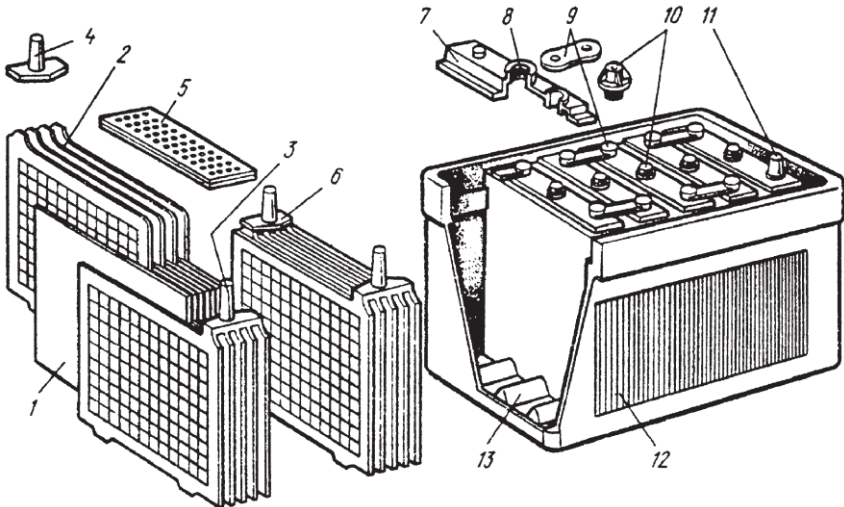
Устрій стартерних акумуляторних батарей.

Батарея залежно від необхідної напруги містить три або шість послідовно з'єднаних акумуляторів. Стартерна свинцева акумуляторна батарея звичайної конструкції з міжелементними перемичками над кришками комірок складається із зібраних у напівблоки 2 і 3 (рис. 4.1) позитивних і негативних електродів (пластин), сепараторів 1, моноблока 12 (корпуса), кришок 7 із пробками 10, міжелементних перемичок 9, полюсних виводів 11 і запобіжного щитка 5.

Таблиця 4.1 - Щільність електроліту наведена до температури 25°C, г/см³

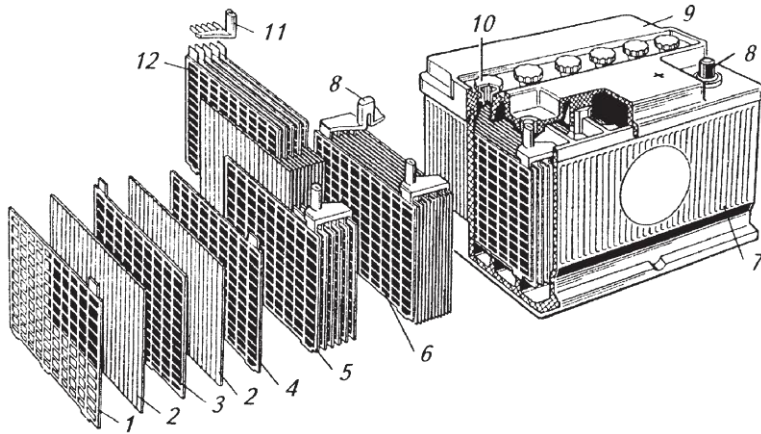
Повністю заряджена батарея	Розряджена батарея	
	на 25 %	на 50 %
1,30	1,26	1,22
1,28	1,24	1,20
1,26	1,22	1,18
1,24	1,20	1,16
1,22	1,18	1,14

Акумуляторна батарея із загальною кришкою й міжелементними перемичками під кришкою (рис. 4.2) має позитивні 3 і негативні 4 електроди, які мають решітку 1 з нанесеною на неї активною масою. Для запобігання від коротких замикань електроди розділені сепараторами 2. Позитивні й негативні електроди з'єднані бареткою в напівблоки 12 і 5. Напівблоки об'єднуються в блоки, які опускаються в секції моноблока й з'єднуються між собою міжелементними перемичками.



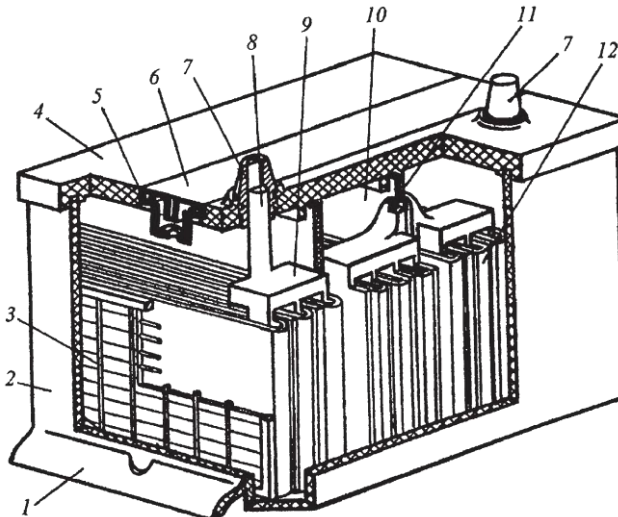
1 - сепаратор; 2, 3 - напівблоки відповідно позитивних і негативних електродів; 4 - баретка; 5 - запобіжний щиток; 6 - місток; 7 - кришка; 8 - заливальний отвір; 9 - міжелементна перемичка; 10 - пробка; 11 - полюсний вивід; 12 - моноблок; 13 - опорна призма

Рисунок 4.1 - Стартерна акумуляторна батарея звичайної конструкції



1 - решітка; 2 - сепаратор; 3, 4 - електроди відповідно позитивний і негативний; 5, 12 - напівблоки відповідно негативних і позитивних електродів; 6 - блок електродів із сепараторами; 7 - корпус моноблока; 8 - полюсний вивід; 9 - загальна кришка; 10 - пробка; 11 - місток з борну

Рисунок 4.2 - Акумуляторна батарея із загальною кришкою



1 - виступ моноблока; 2 - моноблок; 3 - електрод; 4 - кришка; 5 - пробка; 6 - планка; 7 - вивід; 8 - борн; 9 - місток; 10 - перегородка; 11 - міжелементна перемичка; 12 - сепаратор-конверт

Рисунок 4.3 - Акумуляторна батарея із сепараторами-конвертами

Акумуляторна батарея із сепараторами-конвертами й міжелементними перемичками під загальною кришкою через перегородку для тракторів наведена на рис. 4.3.

Електроди.

У повністю зарядженій свинцевій батареї активною речовиною позитивних електродів є діоксид свинцю PbO_2 (темно-коричневого кольору), а негативних - губчатий свинець Pb (сірого кольору).

Решітки електродів виконують функції підведення струму до активної маси при її заряді й струмовідводу при її розряді, а також механічного втримання активної маси.

Однакові по конструкції решітки позитивних і негативних електродів мають вушка, рамку з вертикальними ребрами й горизонтальними жилками, опорні ніжки. У деяких решітках у випадку застосування сепараторів-конвертів ніжки мають меншу висоту або відсутні. Профіль ребер і жилок забезпечує легке добування решітки з ливарної форми й гарний контакт між активною масою й решіткою.

Освинцьована сітка металевих решіток зі збільшеною поверхнею має краще зчеплення з активною речовиною електрода, що зменшує дію корозії й збільшує термін служби батареї.

Решітки електродів повинні забезпечувати рівномірний розподіл струму по всій масі активних речовин. Ступінь нерівномірності розподілу струму на електродах залежить від відношення висоти до ширини електродів. З наближенням даного відношення до одиниці (квадратний електрод) ступінь нерівномірності розподілу струму знижується. У стартерних батареях звичайної конструкції застосовують електроди шириною 143 мм і висотою без ніжок 119 і 133,5 мм.

Товщина решіток електродів залежить від режимів роботи й установленого терміну служби батареї. Для автомобільних батарей товщина решіток дорівнює 1,5-2 мм. Решітки негативних електродів мають меншу товщину, тому що вони менш піддані корозії. Маса решіток становить до 50 % маси електрода.

Решітки електродів відливають зі сплаву свинцю й сурми (4-6 %) з додаванням миш'яку (0,1-0,2 %). Сурма збільшує механічну міцність і корозійну стійкість решітки, підвищує її твердість, поліпшує плинність сплаву при виготовленні решіток, знижує їхнє окиснення при зберіганні. Додаток миш'яку збільшує корозійну стійкість решіток, помітно підвищує межу міцності на розрив і твердість. Легування миш'яком свинцево-сурьмянистих сплавів решіток електродів дозволяє

збільшити термін служби батарей.

Гнізда решіток електродів заповнені пористою активною масою. Основою пасти електродів є свинцевий порошок, що замішується у водяному розчині сірчаної кислоти. Для збільшення міцності активної маси в пасту позитивних електродів додають поліпропіленове волокно. Додавання волокна підвищує механічну міцність пасти й збільшує пористість активної маси позитивного електрода з 40 до 50 %, у результаті чого підвищується термін служби й поліпшуються енергетичні характеристики батареї на 9-15 %. Вміст волокна й капрону або пропиляна діаметром 25 мкм, довжиною 3-5 мм становить 0,4 % сухої маси активної речовини. Ущільнення активної речовини негативних електродів у процесі експлуатації можна уникнути завдяки додаванню в пасту розширників (сажа, дубитель БНС, гумати, одержувані з торфу, і т.д.) у суміші із сірчано-кислим барієм.

Пориста структура активної маси електродів забезпечує краще проникнення електродів у глибинні шари й підвищує коефіцієнт використання активних речовин. Активна поверхня пористої маси (поверхня, що безпосередньо контактує з електролітом) у сотні раз перевищує геометричну поверхню електрода.

Губчатий свинець негативного електрода має менший питомий опір (1,83-10 Ом•см) у порівнянні з діоксидом свинцю ($74 \cdot 10^{-4}$ Ом•см) позитивного електрода, тому негативний електрод має більшу механічну міцність, менше підданий жолобленню й корозії.

Омічний опір решіток стартерних батарей товщиною 2,2-2,5 мм перебуває в межах 1,8-2,4 мОм, товщиною 1,6-1,8 мм - у межах 2,4-3,0 мОм. У зарядженому стані опір негативного електрода становить 62-70 % опору решітки, а позитивного - 92-98 %. У міру розряду батареї опір електродів наближається до опору решіток.

Негативні й позитивні електроди за допомогою бареток з'єднані в напівблоки. Баретки мають містки, до яких вушками приварені решітки електродів, і вивідні штирі (борни). Борни є струмовідводами напівблоків електродів. Міст і містки забезпечують необхідний зазор між електродами. Зі збільшенням числа паралельно з'єднаних електродів у напівблоках збільшується номінальна ємність акумулятора.

Напівблоки об'єднані в блоки електродів. Залежно від пропонуваного до батареї вимог співвідношення між числом позитивних і негативних електродів може бути різним. Однак число різнополярних електродів відрізняється не більше ніж на одиницю: звичайно негативних

електродів у блоках на один більше, ніж позитивних. У струмоутворюючих реакціях бере участь більша кількість активної речовини позитивних електродів. Перебуваючи між двома негативними електродами, позитивний електрод при заряді й розряді зазнає менше змін активної маси й менше деформується.

При такому співвідношенні товщина позитивних електродів, як правило, на 10-20 % більше товщини негативних, а товщина крайніх негативних електродів на 40 % менше товщини позитивних. У деяких батареях число різнополярних електродів однакове. У таких випадках обидва електроди мають однакову товщину.

Сепаратори.

Електроди в блоках розділені сепараторами, які, запобігаючи короткому замиканню між різнополярними електродами, забезпечують необхідний для високої іонної провідності запас електроліту в міжелектродному просторі й можливість переносу електричного заряду від одного електрода до іншого.

Крім того, сепаратори фіксують положення електродів, попереджаючи їхнє переміщення при трясці й вібрації. У деяких конструкціях акумуляторних батарей блок електродів 3 (рис. 4.4) кріпиться додатково до баретки 1 за допомогою поліуретану 2, що значно підвищує стійкість акумуляторної батареї до вібрації.

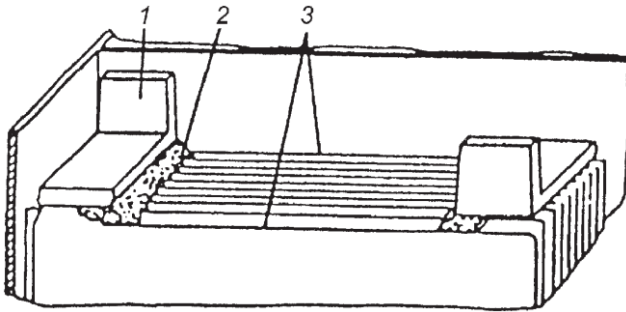


Рисунок 4.4 - Кріплення блоку електродів до баретки за допомогою поліуретану

Технічні показники сепараторів суттєво впливають на роботу свинцевої акумуляторної батареї. Від омичного опору сепараторів залежить внутрішнє спадання напруги в акумуляторній батареї. Сепара-

тори сповільнюють опливання активної маси позитивних електродів і сульфатацію негативних електродів, продовжуючи термін служби акумуляторної батареї.

Сепаратори повинні мати високу пористість, достатні механічну міцність, кислотостійкість, еластичність, мінімальну гігроскопічність при тривалому зберіганні акумуляторної батареї в сухозарядженому стані й повинні зберігати свої властивості в широкому діапазоні температур. Опір сепаратора, просоченого електролітом, повинен бути меншим, ніж опір такого ж за обсягом і геометричними розмірами шару електроліту.

У стартерних свинцевих батареях встановлюють сепаратори з міпору, міпласту, поровінілу, пластипору (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 - Сепаратори акумуляторних батарей

Матеріал	Відносний електроопір, не більше	Об'ємна пористість %, не менше	Маса, кг, сепаратора із площею поверхні 1 м ²
Міпор	5,5	50—60	0,564
Міпласт	5	40—50	0,636
Поровініл	5	75	0,272
Пластипор	—	75	0,250
Відносний опір - відношення опору сепаратора, просоченого електролітом, до опору шару електроліту тієї ж форми, яку має сепаратор			

Міпор (мікропористий ебоніт) - одержують у результаті вулканізації суміші натурального каучуку із силікагелем і сіркою. Промисловість випускає сепаратори з міпору товщиною 1,1; 1,5; 1,9 мм. До недоліків сепараторів з міпору відносяться крихкість, мала швидкість просочення електролітом, дефіцитність сировини й висока вартість.

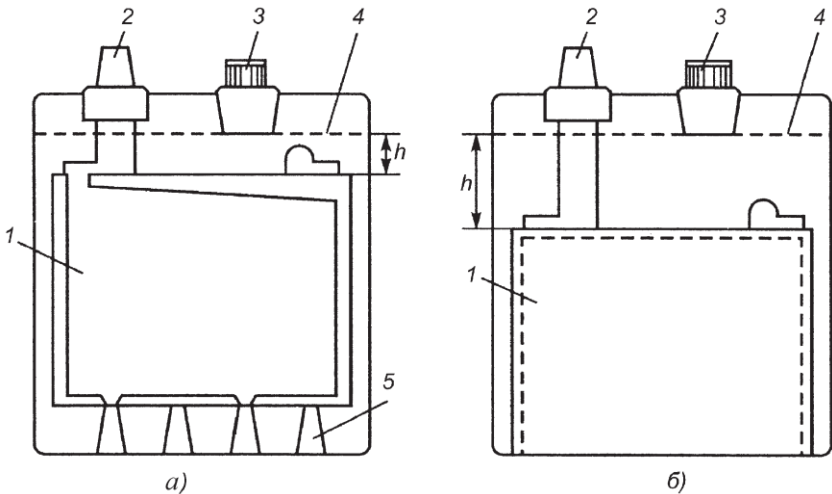
Міпласт (або мікропористий поліхлорвініл) - виготовляють із поліхлорвінілової смоли шляхом спікання. Сепаратори з міпласту випускають товщиною 1,1; 1,3; 1,5; 1,7; 1,9 мм. Технологічний процес виготовлення сепараторів з міпласту простіший. Міпласт швидко просочується електролітом, має низький відносний опір і достатню механічну міцність. Міпласт менш стійкий до утвору голчастих струмопровідних містків між електродами, тому що має меншу пористість і більший діаметр пор у порівнянні з міпором. Термін служби батарей із сепараторами з міпласту менший.

Поровініл одержують із пористого поліхлорвінілу, а **пластипор**

- з перхлорвінілової смоли. Вологість сепараторів з міпору і міпласту при складанні, а також наскрізних мікроотворів, які можна виявити при просвічуванні електричною лампою потужністю 100 Вт, розташованої на відстані 100 мм від сепаратора, не повинна бути більше 2 %.

Механічну міцність сепараторів оцінюють по опору при розриві, вигині навколо валика діаметром 45-60 мм.

Сепаратори представляють собою тонкі (1-2 мм) прямокутні пластини з вертикальними ребрами, які повернені до позитивного електрода для кращого доступу до нього електроліту. Невеликі ребра висотою 0,15-0,20 мм із боку, зверненого до негативного електрода, знижують імовірність «проростання» сепаратора, поліпшують умови дифузії й конвекції електроліту близько негативного електрода.



а - звичайні; б - необслуговувані із сепараторами-конвертами;
1 - блок електродів; 2 - полюсний вивід; 3 - пробка;
4 - призма моноблока; 5 - рівень електроліту над блоком електродів

Рисунок 4.5 - Схеми розташування електродів в акумуляторних батареях

Сепаратори з міпору і міпласту більші електродів по ширині на 3-5 мм, по висоті на 9-10 мм, що виключає появу струмопровідних містків по торцях електродів і сепараторів.

Останнім часом у акумуляторних необслуговуваних батареях, застосовують також сепаратори-конверти. Схема розташування елект-

родів в акумуляторних батареях наведена на рис. 4.5. При установці одного з електродів у сепаратор-конверт виключається замикання електродів різнойменної полярності шламом. Тому можна встановлювати блоки електродів безпосередньо на дно моноблоків без призм і шламового простору, що дозволяє при збереженні висоти акумуляторної батареї більше ніж у 2 рази збільшити висоту рівня електроліту над електродами.

Моноблок. Кришки. Пробки.

Моноблок (корпус) стартерних батарей виготовляють із ебоніту або пластмаси. Важкі й крихкі моноблоки з ебоніту в цей час замінюють моноблоками з термопласту (наповненого поліетилену) або тонкостінними моноблоками з морозостійкого співполімеру пропілену з етиленом. Висока міцність у широкому інтервалі температур, стійкість до кислот, масел, розчинників і теплостійкість нових моноблоків дозволили зменшити товщину їх стінок до 1,8-2,5 мм (замість 6-8 мм для моноблока з ебоніту), а перегородок - до 1,2- 2,5 мм (замість 2,65-5,6 мм).

Усередині моноблок розділений міцними непроникними перегородками на окремі гнізда по числу акумуляторів у батареї. У гніздах моноблока розміщують зібрані в блоки електроди, розділені сепараторами. В акумуляторних батареях зі звичайними сепараторами на дні кожного гнізда передбачено чотири призми, що утворюють простір для осідаючих на дно гнізд батареї активних речовин електродів (шламу). На кожні дві опорні призми встановлюють різнополярні електроди на опорах, що виключає їхнє коротке замикання шламом. На перегородках моноблока передбачені вертикальні виступи (пілястри) для кращої циркуляції електроліту біля електродів, що прилягають до перегородок.

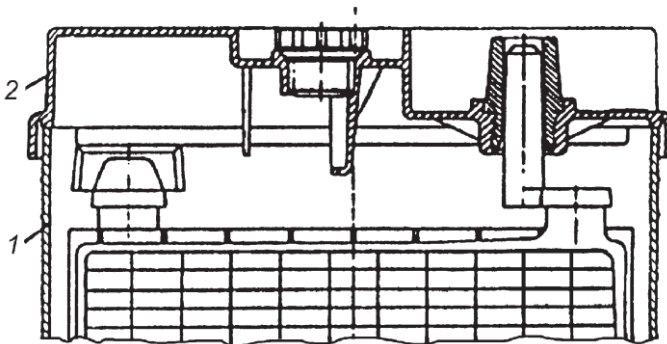
Застосування поліпропілену дало можливість при збереженні достатньої механічної міцності суттєво зменшити масу моноблока. Щільність пропілену дорівнює $0,9 \text{ г/см}^3$, а ебоніту - $1,4 \text{ г/см}^3$. За рахунок зменшення товщини стінок маса поліпропіленового моноблоку на 80 % менше маси ебонітового, що робить батарею більш транспортальною в процесі експлуатації. При однакових габаритних розмірах у поліпропіленовий моноблок можна встановити більше електродів, що збільшує ємність батареї на 15-20 %. Моноблок з поліпропілену міцніший, складніше руйнується, більш термостійкий, напівпрозорий, що спрощує контроль рівня електроліту. Поліпропілен більш стійкий до

впливу електроліту, масел, пластичних мастильних матеріалів і бензину. При з'єднанні акумуляторів через перегородки зменшуються маса свинцю й внутрішній опір батареї, що підвищує на 10 % її потужність. Щільно приварена до моноблоку загальна кришка запобігає підтіканню електроліту й окисдуванню полюсних виводів у процесі експлуатації. Кришки окремих акумуляторів або всієї батареї виготовляються з однорідного з моноблоком матеріалу.

Найпоширеніша кришка із двома крайніми отворами для виводу борнів блоку електродів і одним середнім різьбовим отвором для заповнення гнізда моноблоку електролітом і контролю його рівня. У крайні отвори окремих кришок запресовані свинцеві втулки.

У місцях стику окремих кришок зі стінками моноблоку батареї герметизовані бітумною мастикою.

Широкі можливості для конструктивних удосконалень, що дозволяють полегшити технічне обслуговування батареї в процесі експлуатації, забезпечує застосування загальних кришок, які приварюють до моноблоків. Контактно-теплове зварювання пластмасового моноблоку 1 (рис. 4.6) і загальної кришки 2 створює надійну герметизацію.



1 - моноблок, 2 - кришка

Рисунок 4.6 - З'єднання загальної кришки з моноблоком

Застосування загальної кришки на всі акумулятори батареї дозволяє:

- зменшити довжину міжелементних з'єднань, що знижує внутрішній опір батареї;
- легше підтримувати чистоту верхньої частини батареї, що знижує ймовірність її саморозряду через кришку;

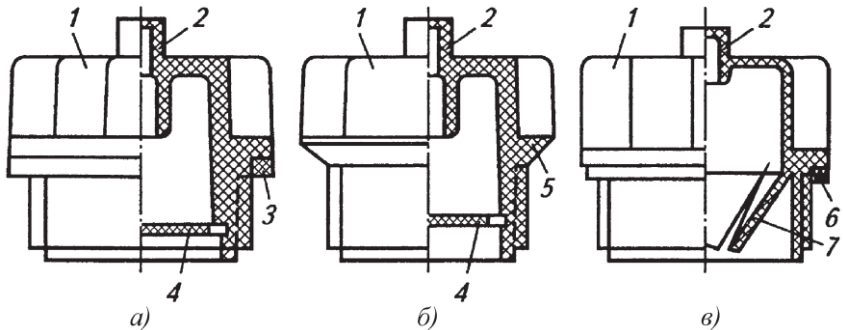
- підсилити кріплення окремих акумуляторів у батареї.

Однак використання загальної кришки має недоліки:

- не можна виміряти напругу окремого акумулятора й замінити його, якщо він непридатний;
- неможливо відремонтувати батарею із загальною кришкою.

Заливальні отвори горловини в кришках уніфіковані по метричному різьбленню M20, M24 і M30 і закриті пробками з вентиляційними отворами.

Пробки виготовляють із ебоніту, полістиролу або феноліту. Пластмасові пробки мають меншу масу й більшу міцність. Для того щоб запобігти витіканню електроліту, між ущільнювальним бортом корпусу 1 (рис. 4.7) і заливальною горловиною кришки встановлюють гумову шайбу 3. Герметизація може забезпечуватися також конусним бортом 5, припасованим до горловини отвору в кришці. У новій конструкції пробок передбачений пластмасовий ущільнювальний елемент 6, розташований на бортику пробки. Пробки мають вбудовані відбивачі 4 і 7, які не дозволяють електроліту вихлюпуватися через вентиляційний отвір. У пробках нової конструкції відбивач 7 виконаний у вигляді пелюсток.



а - гумовим; б - під конус; в - пластмасовим; 1 - корпус пробки; 2 - приплив вентиляційного отвору; 3 - гумова шайба; 4 - відбивач; 5 - конусний бортик; 6 - пластмасовий ущільнювальний елемент; 7 - пелюстковий відбивач

Рисунок 4.7 - Пробки батарей з ущільненням

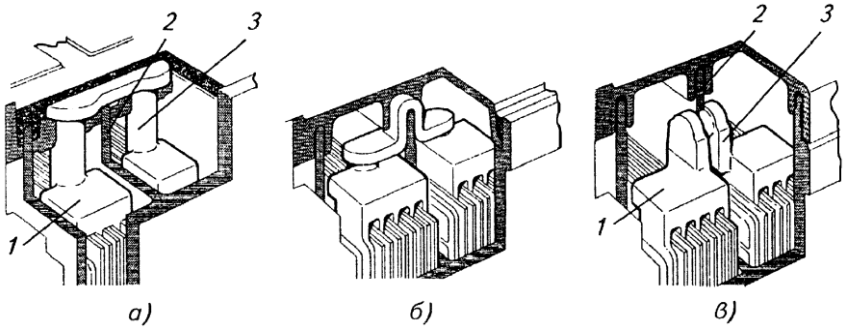
Батареї великої ємності постачені ручками для перенесення, прикріпленими до моноблока спеціальними металевими скобами, накладками й гвинтами. Така конструкція вимагає додаткового осна-

щення для виготовлення кріпильних деталей переносних пристроїв і збільшує трудомісткість виготовлення батарей.

Виконання переносних пристроїв з ручками, розташованими в отворах бортика моноблока, простіше. Ручки можуть бути твердими або гнучкими, можуть переміщатися у вертикальному напрямку й повертатися на деякий кут по горизонталі. Переносні пристрої й місця їх кріплення повинні витримувати навантаження, яке дорівнює дворазовій масі батареї з електролітом.

Міжелементні перемички. Полюсні виводи.

Для послідовного з'єднання акумуляторів у батареї використовують міжелементні перемички (рис. 4.8), які припаюють до борнів бареток напівблоків у такому порядку, щоб з'єднати між собою напівблок негативних електродів одного акумулятора з напівблоком позитивних електродів поруч розташованого акумулятора. При з'єднанні борна з міжелементною перемичкою до них приварюється верхня частина свинцевої втулки, запресованої у кришці. Це забезпечує надійне ущільнення отворів у місцях виводу борнів.

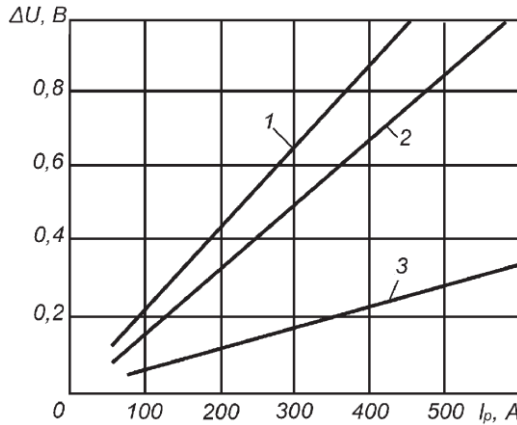


а - зовнішні над кришкою; б - внутрішні над перегородкою;
в - внутрішні через отвір у перегородці;
1 - місток баретки; 2 - перегородка моноблока; 3 - борн баретки

Рисунок 4.8 - Міжелементні перемички акумуляторних батарей

Укорочені міжелементні перемички через перегородки поліетиленових моноблоків дозволяють зменшити внутрішній опір батареї й витрати свинцевого сплаву. Зниження спадання напруги на сполучних деталях дозволяє мати більше на 0,1-0,3 В напруги на виводах батареї при її роботі в стартерному режимі. На рис. 4.9 наведена залежність

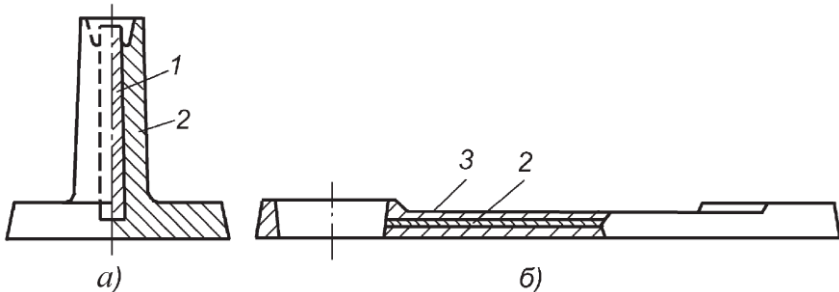
спадання напруги ΔU у перемичці між акумуляторами від сили розрядного струму I_p при різних способах з'єднання акумуляторів.



1 - над кришкою; 2 - під кришкою; 3 - через перегородку

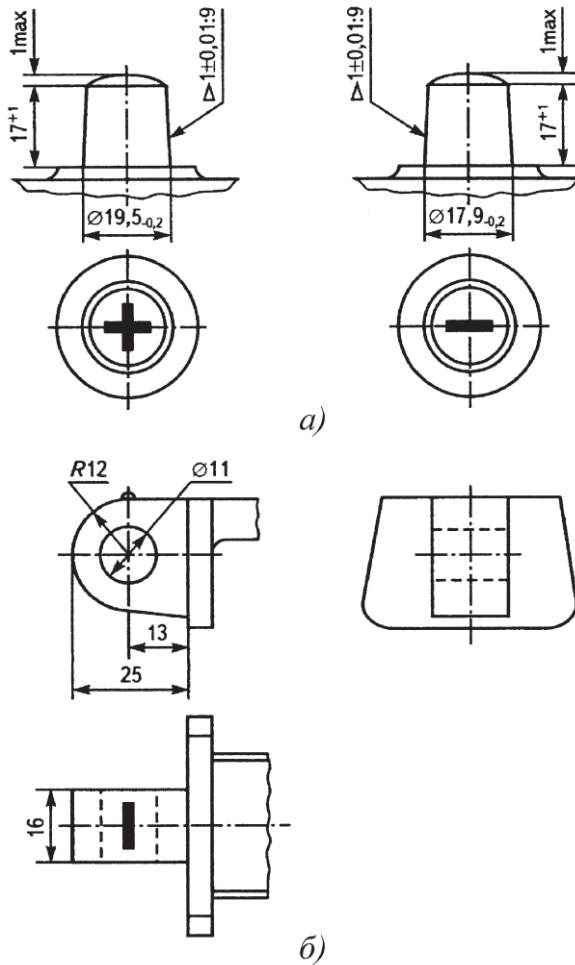
Рисунок 4.9 - Залежність спадання напруги ΔU у перемичці між акумуляторами від сили розрядного струму I_p батареї при різних способах з'єднання акумуляторів

Для зменшення внутрішнього спадання напруги в батареях 6СТ-182, 6СТ-190 і 3СТ-215 борни й міжелементні перемички виконані у вигляді освинцьованих вкладишів з міді, що мають в 12 раз більшу електропровідність у порівнянні зі свинцево-сурьмяністими сплавами. На рис. 4.10 показані струмоведучі деталі з мідними вставками.



а - борн; б - міжелементна перемичка; 1 - мідний стрижень борна;
2 - свинцево-сурьмяністий сплав; 3 - мідна планка міжелементної перемички

Рисунок 4.10 - Струмоведучі деталі з мідними вставками



а - конусні; б - з отворами під болт

Рисунок 4.11 - Полюсні виводи стартерних батарей

Поперечний переріз борнів і міжелементних перемичок батарей вибирається з умови, що спадання напруги на кожному з борнів становить 16 мВ на міжелементних перемичках - 20 мВ при силі струму $3C_{20}$ А. До борнів крайніх акумуляторів приварюють конусні полюсні виводи (рис. 4.11). Розміри виводів стандартизовані.

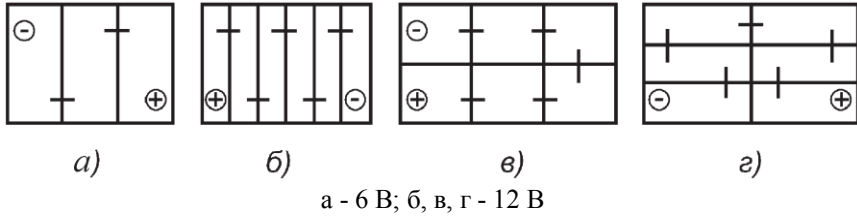


Рисунок 4.12 - Схеми розташування акумуляторів у вітчизняних батареях з номінальною напругою

Діаметр конуса в основі позитивного виводу більший, ніж у негативного (у закордонних батареях розмір виводів вказується по верхньому діаметру конуса: 17,4 і 15,8 мм відповідно для позитивного й негативного виводів). У такий спосіб виключається ймовірність неправильного підключення батареї в систему електроустаткування.

Деякі батареї мають виводи менших розмірів з отворами під болти або гвинти. Необслуговувані акумуляторні батареї, корпорація GNB випускає з обома типами виводів: конусними на кришці і бічними з різьбовими втулками. Це дозволяє забезпечити підключення до батареї сполучних проводів з різними конструктивними виконаннями наконечників. Залежно від ємності батареї, її номінальної напруги й типу транспортного засобу, відповідно передбачені й різні схеми розташування акумуляторів у батареї (рис. 4.12).

Електроліт готується із сірчаної кислоти і дистильованої води. Від хімічної чистоти електроліту залежать характеристики й термін служби батареї. Кислоту підрозділяють на два сорти (А і Б) залежно від кількості домішок (табл. 4.3). Концентрована сірчана кислота являє собою прозору рідину без кольору й запаху щільністю $1,83 \text{ г/см}^3$, у якій утримується 94 % чистої сірчаної кислоти.

Температура кипіння кислоти складає 33°C . Температура електроліту, що заливається в акумулятори, повинна бути в межах $15\text{--}30^\circ\text{C}$. Залежно від кліматичних районів експлуатації в батареї заливають електроліт різної щільності (табл. 4.4), від якої залежить температура його замерзання (табл. 4.5). Норми витрати сірчаної кислоти й дистильованої води для приготування електроліту необхідної щільності наведені в табл. 4.6.

Вміст домішок (мг/л) у дистильованій воді, необхідної для готування електроліту, не повинен перевищувати перерахованих значень:

залишок після випарювання 5,00; алюміній 0,05;
 залишок після прожарювання 1,00; кальцій 0,80;
 аміак і амонійні солі 0,02; мідь 0,02;
 нітрати 0,20; свинець 0,05;
 сульфати 0,50; цинк 0,20;
 хлориди 0,02; відновлювані речовини 0,08.
 залізо 0,05;

Таблиця 4.3 - Вміст домішок у сірчаній кислоті, %

Домішки, %	Сорт А	Сорт Б
Залізо	0,00600	0,0120
Марганець	0,00005	0,0001
Мідь	0,00050	0,0005
Миш'як	0,00005	0,0001
Оксиди азоту	0,00005	0,0001
Важкі метали (у перерахуванні на свинець)	0,01000	0,0100
Хлористі з'єднання	0,00030	0,0005
Залишок після прожарювання	0,03000	0,0400

Таблиця 4.4 - Щільність електроліту

Макро-кліматичний район	Кліматичний район; середньомісячна температура повітря в січні, °С	Пора року	Щільність електроліту наведена до температури 25°С, г/см ³	
			Залитого	Зарядженої батареї
Холодний	Дуже холодний: від -50 до -30	Зима	1,28	1,30
		Літо	1,24	1,26
		Цілий рік	1,26	1,28
Помірний	Холодний: від -30 до -15	Зима	1,24	1,26
		Літо	1,22	1,24
		Цілий рік	1,20	1,22
	Помірний: від -15 до -3	Зима	1,24	1,26
		Літо	1,22	1,24
		Цілий рік	1,20	1,22
	Жаркий сухий: від -15 до 4	Зима	1,24	1,26
		Літо	1,22	1,24
		Цілий рік	1,20	1,22
	Теплий вологий: від 0 до 4	Зима	1,24	1,26
		Літо	1,22	1,24
		Цілий рік	1,20	1,22

Приготування електроліту з попередньо підготовленого й охолодженого до кімнатної температури розчину сірчаної кислоти щіль-

ністю 1,40 г/см³ більш доцільне, тому що в цьому випадку менше виділяється теплоти й потрібно менше часу.

Таблиця 4.5 - Температура замерзання електроліту

Щільність електроліту, наведена до температури 25 °С, г/см ³	Температура замерзання, °С	Щільність електроліту, наведена до температури 25 °С, г/см ³	Температура замерзання, °С
1,09	-7	1,24	-50
1,12	-10	1,26	-58
1,14	-14	1,29	-66
1,16	-18	1,30	-68
1,18	-22	1,40	-36
1,20	-28	1,50	-29
1,22	-40	1,70	-14
1,23	-42	1,80	+6

Таблиця 4.6 - Норми витрати компонентів для приготування 1 дм³ (л) електроліту

Необхідна щільність електроліту, наведена до температури 25 °С, г/см ³	Необхідна кількість компонентів, л			
	Вода	Кислота щільністю 1,83 г/см ³	Вода	Електроліт щільністю 1,40 г/см ³
1,20	0,859	0,200	—	—
1,21	0,849	0,211	0,475	0,525
1,22	0,839	0,221	—	—
1,23	0,829	0,231	0,425	0,575
1,24	0,819	0,242	0,400	0,600
1,25	0,809	0,252	0,375	0,625
1,26	0,800	0,263	0,350	0,650
1,27	0,790	0,274	0,325	0,675
1,28	0,781	0,285	0,300	0,700
1,29	0,771	0,296	0,275	0,725
1,30	0,761	0,306	0,250	0,750
1,31	0,750	0,316	0,225	0,775
1,40	0,650	0,423	—	1,000

Питання для самоперевірки

1. Яке призначення акумуляторної батареї на транспортному засобі?
2. Як класифікують акумуляторні батареї?
3. Опишіть два способи підзарядки акумулятора.
4. Як можна визначити ідеальну швидкість заряду для свинцево-кислотної батареї?
5. Поясніть, чому важлива «щільність енергії» акумулятора.
6. Як можна виміряти внутрішній опір акумулятора?
7. Від чого залежать умови роботи акумуляторної батареї?
8. В яких температурних режимах можуть працювати стартерні свинцеві акумуляторні батареї?
9. До чого призводить підвищення температури електроліту в батареї вище експлуатаційних показників?
10. Які вимоги висувають до стартерних акумуляторних батарей?
11. Як обраховується мінімальний термін служби акумуляторної батареї в експлуатації?
12. Поясніть принцип дії свинцевого акумулятора.
13. Користуючись схемою поясніть устрій стартерних акумуляторних батарей транспортних засобів.
14. Які функції виконують решітки електродів?
15. З яких матеріалів виготовлюють решітки електродів?
16. Для чого призначені сепаратори?
17. З яких матеріалів виготовлюють сепаратори у стартерних свинцевих батареях?
18. З яких матеріалів виготовлюють корпус стартерних батарей?
19. Що дає застосування загальної кришки на всі акумулятори батареї?
20. Як забезпечується герметизація пробок батарей?
21. Для чого призначені міжелементні перемички?
22. Як готується електроліт?
23. Що являють собою необслуговувані батареї?
24. Поясніть устрій акумуляторної батареї з рулонними елементами.
25. Де і як можуть бути розміщені акумуляторні батареї на транспортному засобі?
26. Назвіть характеристики стартерних акумуляторних батарей.
27. Що показує вольт-амперна характеристика батареї?
28. Внаслідок чого відбувається саморозряд батареї?

ЛЕКЦІЯ № 5. СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПАЛИВА

План лекції. Процес згоряння палива в двигуні із запалюванням від іскри. Діапазон і швидкість горіння. Детонація. Передчасне займання. Конструкція камери згоряння. Концентрація суміші і якість роботи двигуна. Двигуни із запалюванням від стиснення. Конструкція камери згоряння дизельного двигуна. Постачання двигуна паливом і шкідливі викиди. Електронне керування карбюратором. Впорскування палива. Короткий огляд систем впорскування. Впорскування дизельного палива. Електронне керування дизельним впорскуванням. Технологія спалювання бідних сумішей (Mazda). Система Common rail.

Література: [1], [11]-[15], [22].

Процес згоряння палива в двигунах із запалюванням від іскри та займанням від стиснення найкраще розглядати по черзі. Після багатьох років дослідження найбільш важливих практичних аспектів згорання ці процеси все ще викликають чимало запитань. Для отримання найновіших даних необхідно регулярно звертатися до відповідних джерел. Однак аналіз процесів згоряння палива необхідний для повного розуміння конструкцій і процесу функціонування електронних систем управління подачею палива в двигунах внутрішнього згоряння.

Процес згоряння у двигунах з іскровим запаленням.

Спрощений опис процесу згоряння всередині циліндра двигуна із запалюванням від іскри виглядає наступним чином. Між електродами свічки запалювання проскакує інтенсивний електричний розряд, який має високу температуру, і який залишає за собою тонку нитку полум'я. Від цієї тонкої нитки, горіння поширюється по замкнутому об'єму суміші зі швидкістю, яка залежить головним чином від температури фронту полум'я, але також, хоч і в меншому ступені, від температури і щільності навколишньої суміші (рис. 5.1).

Таким чином утворюється згусток полум'я, який радіально поширюється від центру назовні до тих пір, поки весь об'єм суміші не займеться. У згустку містяться продукти згоряння з високою температурою, у той час як перед фронтом полум'я знаходиться стиснута і ще незгорівша суміш.

Якби вміст циліндра залишався у спокої, цей згусток би не руйнувався, але так як всередині циліндра зазвичай присутні газові вихри,

тонкий шар полум'я перетворюється в рваний фронт, що збільшує область його дії і дуже збільшує швидкість поширення.

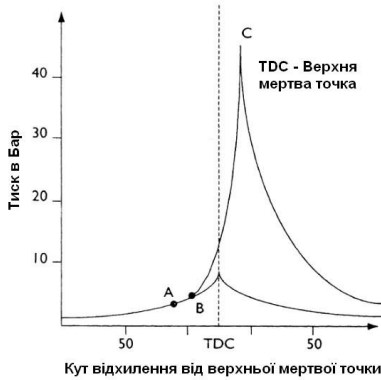


Рисунок 5.1 - Швидкість горіння палива

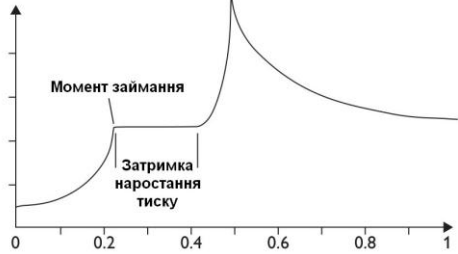


Рисунок 5.2 - Залежність тиску від температури при горінні палива, стисненого до температури самозаймання в постійному об'ємі

Швидкість процесу залежить від ступеня турбулентності, і водночас турбулентність мало впливає на напрям поширення, за винятком того, що утворення вихору накладає на весь процес певний відбиток. Горіння можна розбити на дві стадії:

1. Виникнення стійкого полум'я.
2. Поширення полум'я на весь об'єм камери згоряння.

Перший процес описується хімічними законами і залежить від природи палива, температури і тиску в даний момент, а також швидкості, з якою паливо буде окислюватися, або горіти. Як видно на рис. 5.1, це інтервал від моменту появи іскри A до моменту часу, коли буде помічено збільшення тиску від горіння суміші B.

Можна чітко продемонструвати цей період затримки займання. Якщо паливо спалюється в постійному об'ємі, будучи стиснутим до температури самозаймання, залежність тиску від часу виглядає так, як показано на рис. 5.2. Цей часовий інтервал характерний для всіх видів палива, але він може бути зменшений завдяки збільшенню температури суміші, при якій відбувається стиснення. Подібний результат можна продемонструвати в лабораторії при дослідженні ефекту впливу концентрації суміші на затримку займання.

Повертаючись до рис. 5.1, що показує хід процесу згоряння, ми бачимо, як тиск дуже швидко підвищується всередині циліндра двигуна від В до С, наближаючись до процесу «постійного об'єму» чотиритактного циклу. У той час як точка С являє піковий тиск в циліндрі і завершення поширення полум'я, через розшарування вивільнене ще не все доступне тепло, що можна розглядати як догорання палива, яке триває протягом такту розширення.

Діапазон і швидкість горіння можна виразити графічно. На рис. 5.3 показана приблизна залежність між температурою полум'я і часом його поширення від моменту виникнення іскри для вуглеводневого палива. На рис. 5.4 показано співвідношення між температурою полум'я і концентрації суміші. На рис. 5.5 показано співвідношення між концентрацією суміші і швидкістю горіння.

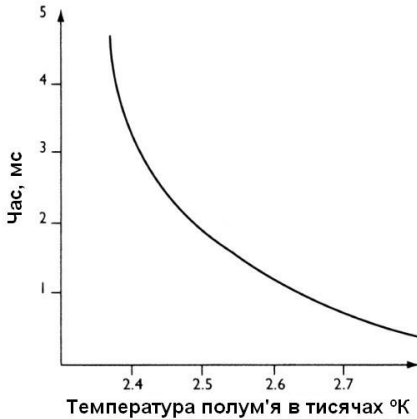


Рисунок 5.3 - Приблизна залежність між температурою полум'я і часом його поширення від моменту виникнення іскри для вуглеводневого палива

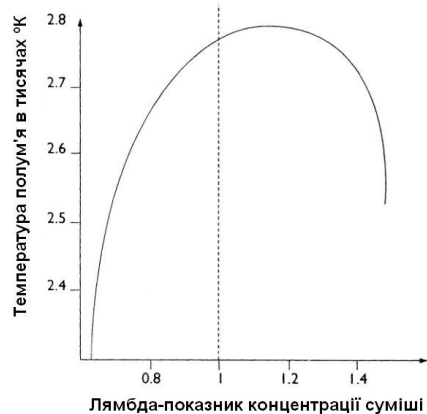


Рисунок 5.4 - Залежність між температурою полум'я і концентрацією суміші

Ці графіки показують, що мінімальний час затримки (від А до В) приблизно дорівнює 0,2 мс для злегка збагаченої суміші. В той час як друга стадія (від В до С), взагалі кажучи, залежить від ступеня турбулентності суміші (і від швидкості обертання двигуна); по мірі збільшення швидкості обертання потрібне збільшення випередження моменту займання. На рис. 5.6 показаний вплив неправильного вибору

часу займання. При ранньому запалюванні спалах починається ще на фазі стиснення, що призводить до підвищення максимального тиску в циліндрі і зазвичай супроводжується зниженням температури вихлопу. При цьому збільшується швидкість горіння суміші, і процес в цілому має тенденцію до вибуху.

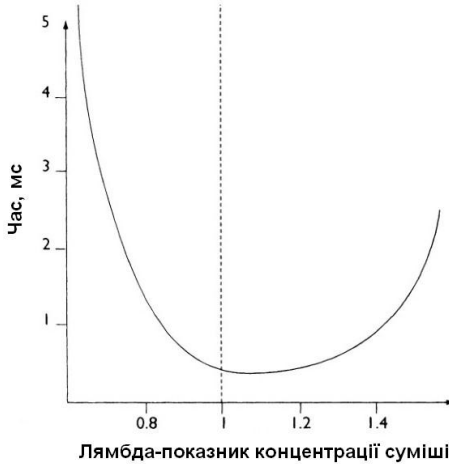


Рисунок 5.5 - Залежність між концентрацією суміші та швидкістю горіння

Детонація.

Явище детонації - це обмежуючий фактор для вихідної потужності та ефективності двигуна з іскровим запалюванням. Механізм детонації - наростання всередині циліндра двигуна хвилі тиску, що рухається з такою швидкістю, що її удар об стінки циліндра і поршня примушує стінки циліндра вібрувати і таким чином видавати характерний «дзвін».

Коли іскра запалює горючу суміш з палива та повітря, ядро полум'я зростає спочатку повільно, а потім швидко прискорюється.

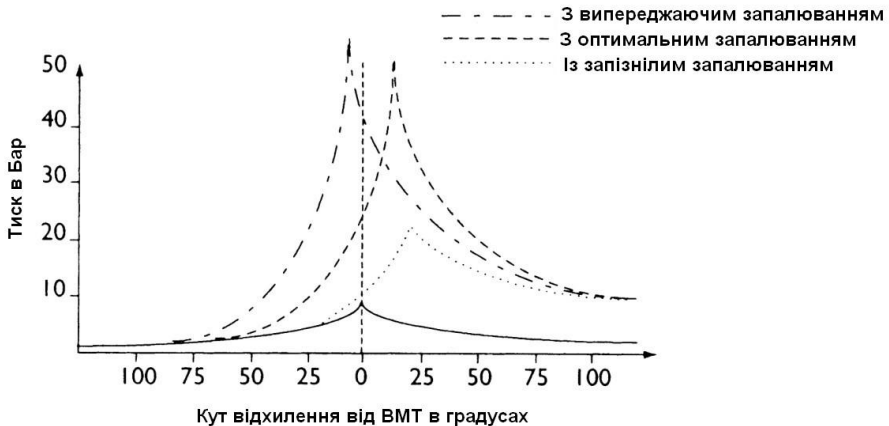


Рисунок 5.6 - Вплив вибору моменту займання на процес горіння палива

У міру того як фронт полум'я просувається, він стискає перед собою ще не запалену суміш. Температура ще не запаленої суміші піднімається за рахунок стиснення і теплового випромінювання від полум'я що просувається, поки залишкова частина суміші не запалиться спонтанним вибухом. Хвиля тиску від цього вибуху проходить через палаючу суміш з дуже високою швидкістю, і стінки циліндра видають дзвінкий звук удару.

Детонація не представляє небезпеки при малих швидкостях руху, так як водії зазвичай уникають цього, знижуючи навантаження на двигун при першому ж попередженні. Але на більш високих швидкостях, коли рівень шуму руху високий, характерний звук детонації часто майже неможливо виявити. Детонація - надзвичайно небезпечне явище, яке здатне повністю зруйнувати двигун.

Висока температура стиснення і тиск сприяють детонації. Крім того, важлива здатність незгорівшої суміші поглинати або передавати тепло, що випромінюється пересувним фронтом полум'я. На цю здатність впливають прихована ентальпія (теплотісткість) суміші і конструкція камери згоряння. Остання повинна бути влаштована відповідним чином для адекватного охолодження незгорівшої частини суміші, наприклад, розміщенням її поблизу добре охолоджуваної області на кшталт клапану вхідного отвору.

Шлях фронту полум'я повинен бути максимально скорочений ретельним вибором розташування точки займання. Інші фактори включають час (і, отже, момент запалювання), так як реакція в суміші що незгоріла вимагає часу для свого розвитку, ступінь турбулентності (взагалі кажучи, більш високий ступінь турбулентності має тенденцію знижувати детонацію за рахунок зриву фронту полум'я) і, що найбільш важливо, схильність самого палива до детонації.

Деякі види палива в цьому відношенні поводяться трохи краще за інші. Щоб поліпшити якість палива, його можна обробити добавками (наприклад, тетраетилсвинцем). Однак це посилює і без того важку проблему викидів. Паливо з хорошими антидетонаційними властивостями - це ізооктан, а найбільш схильний до детонації звичайний гептан. Щоб отримати октанове число або оцінку антидетонаційних властивостей конкретної суміші палива, тест виконують на двигуні, який працює при ретельно контрольованих умовах, і початок детонації порівнюють з тими значеннями, які отримані від різних сумішей ізооктану і звичайного гептану. Якщо робота двигуна ідентична, напри-

клад, роботі на суміші 90 % ізооктану і 10 % гептану, паливо має октанове число 90. Підмішування до палива води (або метанолу і води) може зменшити детонацію. Спиртовмісне паливо, яке дозволяє воді утримуватися в розчині, є корисним ще й тому, що завдяки прихованій ентальпії води дає можливість домогтися кращого використання палива.

Передчасне займання не так очевидно шкідливе, як детонація, але результати його набагато більш серйозні. Не існує такої характеристики, як «стукіт», і якщо він чутий взагалі, то виявляється як глухий удар. Так як це явище не можна відразу ж помітити, його дія часто завдає серйозної шкоди двигуну, так як може бути втрачено управління часом займання. Передчасне запалювання від іскри може статися без видимого ефекту. Більш серйозно самозаймання суміші, яке може статися до іскри. Небезпека передчасного займання криється не стільки в ранньому наростанні тиску, скільки у дуже потужному збільшенні теплового потоку до стінок циліндра і поршня. Максимальний тиск помітно не збільшується, хоча і може настати трохи раніше.

У двигуні з одним циліндром процес не є небезпечним, так як зниження потужності просто змусить двигун зупинитися. У багатоциліндровому двигуні залишаються циліндри (якщо спочатку порушена робота тільки одного з них) продовжать роботу на повній потужності і кількості обертів, підтягуючи циліндр з передчасним займанням за собою. Інтенсивний тепловий потік в дефектному циліндрі може привести до заклинювання поршня, що супроводжується його руйнуванням з катастрофічними результатами для всього двигуна.

Передчасне займання часто ініціюється якоюсь гарячою точкою, можливо, розпиляною частинкою сажі або погано охолодженою ділянкою об'єму згоряння. У деяких випадках, якщо використовується неправильна свічка запалювання, за передчасне запалювання відповідає перегріті електроди, але частіше головною причиною є детонація.

Вибухова хвиля детонації відшукує залишки газів в поверхневій плівці на стінках циліндра, так що в підсумку головне джерело опору тепловому потоку видаляється і відбувається велике виділення тепла. Тут же виявляються будь-які слабкі місця в системі охолодження, і в результаті формуються гарячі точки, які швидко дають початок передчасного займання.

Конструкція камери згоряння.

Щоб уникнути настання детонації і передчасного займання,

конструкторам доводиться ретельно продумувати розташування клапанів і свічок запалювання. Малі двигуни жорстко прив'язані до тарілчастого клапану. Це разом з обмеженнями по простору і наявністю високих ступенів стиснення дарує конструктору цікаві проблеми.

Камера згоряння повинна бути розроблена з урахуванням наступних факторів:

- ступінь стиснення повинна бути 9:1 для звичайного двигуна, 11:1 або 12:1 для двигуна більш високої якості;
- свічка (свічки) повинні бути розміщені так, щоб мінімізувати довжину шляху полум'я. Вони не повинні бути у «кишенях» або якимось інакше закриті, так як це зменшує ефективне охолодження, а також збільшує тенденцію до циклічних змін параметрів роботи циліндра.

Експерименти свідчать про значну зміну тиску протягом наступних тактів розширення. Ці зміни залежать від якості суміші в процесі роботи двигуна. Зниження навантаження і низькі ступені стиснення також погіршують умови протікання процесу. У той час як величина і положення точки максимального тиску змінюється, середній ефективний тиск і потужність двигуна залишаються незмінними.

Розшарування заряду по об'єму циліндра.

Дуже бідну суміш важко запалити, але вона має великий потенціал з точки зору зменшення шкідливих викидів та економії палива. Існує технічний метод, що дозволяє обійти проблему займання бідних сумішей - це розшарування заряду.

Доведено, що якщо концентрація суміші збільшена близько свічки і знижена в основній частині камери згоряння, в результаті середня концентрація суміші зменшиться, але збільшиться теплова ефективність. Цей спосіб розшарування практично нездійснений в звичайній карбюраторній системі. Вирішення цієї проблеми - це пряме впорскування палива, або інжекція суміші, яка може дозволити бензиновому двигуну працювати на сумішах з відношеннями повітря-паливо близько 150:1. У цій області найбільш відома технологія прямої інжекції бензину (gasoline direct injection - GDI) від Mitsubishi.

Концентрація суміші і якість роботи двигуна.

Ефект зміни концентрації суміші при збереженні постійними положення дросельної заслінки, швидкості обертання двигуна і моменту займання, показаний на рис. 5.7.

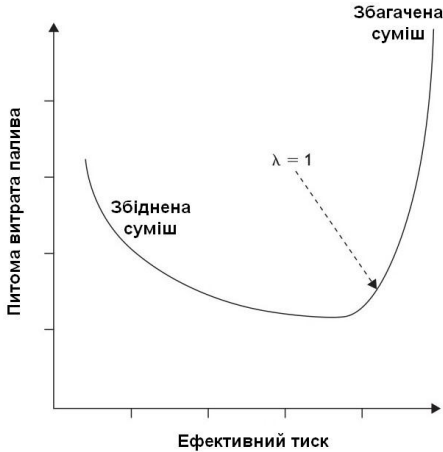


Рисунок 5.7- Зміна концентрації суміші при збереженні постійними положення дросельної заслінки, швидкості обертання й моменту запалювання

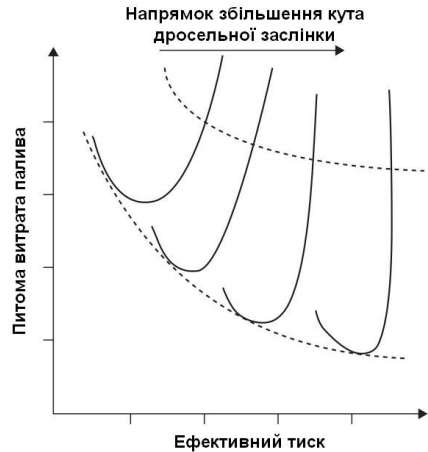


Рисунок 5.8 - Вплив на витрату палива ступеня відкриття дроселя при різних концентраціях суміші

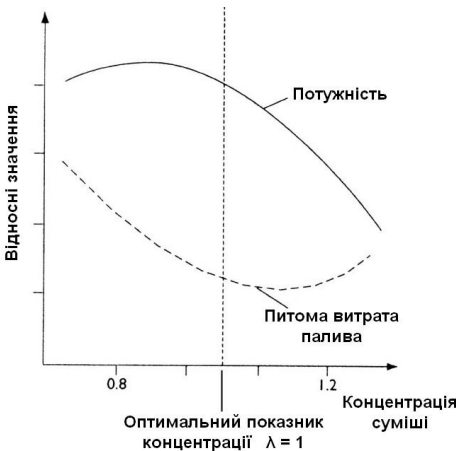


Рисунок 5.9 - Зміна вихідної потужності і споживання палива при зміні якості суміші

На рис. 5.8 показаний вплив дроселя на витрату палива із одночасною зміною концентрації суміші. Хімічно правильний склад суміші (приблизно 14,7:1) лежить між відношенням, яке забезпечує максимальну потужність (12:1), і відношенням, що створює умови мінімального споживання палива (16:1). Стехіометричне відношення 14,7:1 відоме як значення лямбда-показника, дорівнює 1. На рис. 5.9 показано зміну вихідної потужності і споживання палива в залежності від зміни якості паливно-повітряної суміші.

Двигуни із запалюванням від стиснення.

Процес згоряння у двигуні із запалюванням від стиснення відрі-

зняється від процесу у двигуні з іскровим запаленням. У даному випадку паливо вводиться в рідкому стані до сильно стиснутого в циліндрі двигуна порції повітря, яке має високу температуру. Кожна найдрібніша крапелька палива, як тільки вона входить в сильно нагріте повітря, швидко оточується покривалом з її власного пара. Ця пара навколо поверхні крапельки через певний час запалюється. Поперечний переріз будь-якої крапельки в той момент показав би центральне ядро рідини оточене тонкою плівкою пари, з зовнішнім шаром полум'я на ній. Ця послідовність випаровування і горіння зберігається, поки триває процес згоряння палива.

Процес згоряння (окислення) вуглеводневого палива сам по собі є тривалим процесом, але він може бути прискорений штучно. Окислення палива відбуватиметься у повітрі і при нормальних атмосферних температурах, але воно помітно прискориться, якщо підняти температуру. Окислення зажадає років при 20°C , кілька днів при 200°C і лише кілька хвилин при 250°C .

У цих випадках швидкість зростання температури через окислення менше швидкості, з якою тепло втрачається через конвекцію і теплове випромінювання. В кінцевому рахунку, в міру збільшення температури досягається критична стадія процесу, коли кількість тепла, створюваного окисленням, стає більшою, ніж розсіюється.

Далі температура продовжує підвищуватися автоматично. Це у свою чергу, прискорює процес окислення з вивільненням тепла. Тепер події відбуваються дуже швидко, з'являється стійке полум'я, і паливо швидко запалюється. Температуру, при якій настає критична зміна, зазвичай називають температурою самозаймання палива. Вона залежить від багатьох чинників, таких як тиск, час і характеристики передачі тепла від початкової точки окислення далі в камеру згоряння.

Тепер розглянемо упорскування палива у вигляді краплі в гарячу камеру згоряння. При температурі набагато вище точки займання сама крайня частина зовнішньої поверхні краплі негайно починає випаровуватися, оточуючи ядро тонкої плівкою пари. Це призводить до передачі тепла від повітря, що оточує крапельку, на приховану теплоту випаровування. Цей процес супроводжується відбором тепла від всієї маси гарячого повітря.

Займання парової оболонки може статися навіть тоді, коли ядро крапельки все ще рідке і відносно холодне. Як тільки полум'я встановиться, процес згоряння піде при більш високій швидкості. Виникає

період затримки з моменту, як починається впорскування, і до моменту, коли настане займання. Цей період затримки залежить від:

- перевищення температурою повітря температури самозаймання палива;
- тиску повітря (що пов'язано з кількістю кисню і поліпшенням теплопередачі між гарячим повітрям та холодним паливом).

Після періоду затримки швидкість подальшого горіння залежить від тієї швидкості, з якою нові порції кисню надходять до кожної палаючої крапельки. Відносна швидкість крапельки до найближчого повітря має, таким чином, істотне значення. У двигуні з запалюванням від стиснення паливо вводиться на інтервалі не більше ніж за 40-50° кута поворота колінвала від ВМТ. Це означає, що паливо, введене першим, поглинає частину кисню і, можливо, створює дефіцит кисню для останніх порцій палива.

Потрібна певна ступінь турбулентності повітря, щоб згорілі гази були видалені із зони інжектора, і в контакт з паливом увійшло свіже повітря. Ясно, що турбулентність має бути створена належним чином, а не бути хаотичною, як у двигуні із запалюванням від іскри, де вона необхідна тільки для того, щоб розбити фронт полум'я.

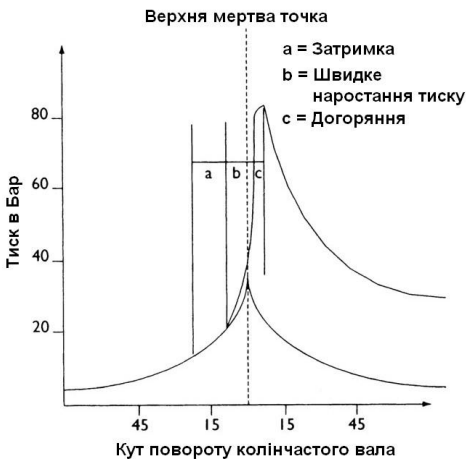


Рисунок 5.10 - Фази згоряння палива в дизельному двигуні

У двигуні з запалюванням від стиску згоряння може бути представлено в трьох різних фазах, показаних на рис. 5.10: період затримки; швидке підвищення тиску; догорання палива, тобто паливо продовжує горіти, віддаляючись від інжектора.

Чим довша затримка, тим більш значним і швидшим буде підвищення тиску, так як в циліндрі буде присутнє більше палива до того моменту, як швидкість горіння потрапить у пряму залежність від швидкості упорскування.

Мета регулювання процесу горіння полягає в тому, щоб максимально зменшити затримку для більш спокійного горіння, усунення

детонації, а також щоб підтримувати контроль над зміною тиску. Є, однак, нижня межа затримки, оскільки без затримки усі крапельки згорали б, як тільки вони вилетіли з сопла. Це зробило б майже неможливим забезпечення достатнього припливу повітря в межах концентрованого струменя крапель. Тому період затримки необхідний для належного розподілу палива. Період затримки залежить, відповідно, від:

- тиску і температури повітря;
- октанового числа палива;
- мінливості складу й прихованої теплоти (ентальпії) палива;
- розміру крапель;
- керованої турбулентності.

Розмір крапельки важливий, оскільки швидкість горіння крапель залежить, перш за все, від швидкості, з якою кисень стає доступним для контакту з палаючої краплею. Це важливо для крапельки, що долає деяку відстань від сопла, навколо якого пізніше сконцентрується вогнище горіння. Звідси розмір крапельок повинен бути досить великим, щоб отримати необхідний імпульс в процесі інжекції. З іншого боку, чим менше крапелька, тим більша відносна площа поверхні реакції і коротше період затримки. Ясно, що необхідний компроміс лежить між цими двома факторами.

При високих ступенях стиснення (15:1 і вище) температура і тиск піднімаються настільки, що затримка зменшується, що є перевагою. Однак більш високі ступені стиснення створюють проблеми для механіки, а також для проектування камер, згорання, особливо в маленьких двигунах, де проліт крапель займає більшу частину допустимого простору камери згорання.

Конструкція камери згорання дизельного двигуна.

Камера згорання двигуна повинна:

- створити необхідний ступінь стиснення;
- забезпечити необхідну турбулентність;
- правильно розмістити і оптимально скоординувати дію клапанів і інжектору.

Ці вимоги взаємозалежні. Турбулентність зазвичай виходить за рахунок факторів об'єму. Конструктивно складні втоплені впускні клапани або спрямовані дотично повітряні канали створюють перешкоди повітряному струменю і тому мало придатні для застосування на високооборотних двигунах.

Щоб допомогти у вентиляції камери, можуть використовуватися

чотири або навіть шість клапанів на циліндр. Переваги такої конструкції полягають в збереженні центрального положення інжектора - бажаної мети для двигунів прямого вприскування. Навпаки, збільшення розмірів клапана і пов'язаний з цим його високий підйом, крім механічних проблем, зазвичай вимагають спеціальних пазів на поршні для створення повітряних потоків.

Напівсферична камера згоряння допомагає збільшити область доступу для клапанів, за рахунок використання Бокового інжектора. Камери попереднього згоряння, будь то повітряний елемент або камера «вихрового згоряння», мають загальний недолік. Температурні навантаження в цій зоні надзвичайно високі, і камери схильні до відмови через порушення властивостей металу - принаймні, знаходяться в стані ризику з того моменту, як вони зобов'язані створювати «гарячу точку», щоб допомогти згорянню. Не існує ніякого унікального рішення, і створювана в результаті камера згоряння - це завжди компроміс.

Постачання двигуна паливом і шкідливі викиди. Режими експлуатації.

Ідеальне відношення «повітря/паливо» приблизно дорівнює 14,7:1. Це теоретична кількість повітря, необхідна для повного згоряння палива. Вона визначає лямбда-показник (λ) зі значенням 1, тобто $\lambda = (\text{фактична кількість повітря}) / (\text{теоретична кількість повітря})$.

Повітряно-паливне відношення при різних експлуатаційних режимах двигуна змінюється, щоб поліпшити якість його роботи, ходові властивості автомобіля, споживання палива і склад відпрацьованих газів. Перелічимо основні режими роботи двигуна з точки зору використання суміші:

- холодний старт - збагачена суміш необхідна для компенсації конденсації палива та поліпшення ходових якостей автомобіля в цьому режимі;
- навантаження або прискорення - збагачена суміш покращує роботу двигуна;
- рівномірний їзда або легкі навантаження - збіднена суміш дозволяє економити паливо;
- позамежний режим - дуже бідна суміш (наскільки можливо) використовується, щоб поліпшити склад вихлопних газів і підвищити економічність двигуна.

Чим точніше управління якістю повітряно-паливної суміші, тим краща в цілому робота двигуна.

Вихлопні гази. На рис. 5.11 показані теоретичні та фактичні результати аналізу продуктів згоряння палива.

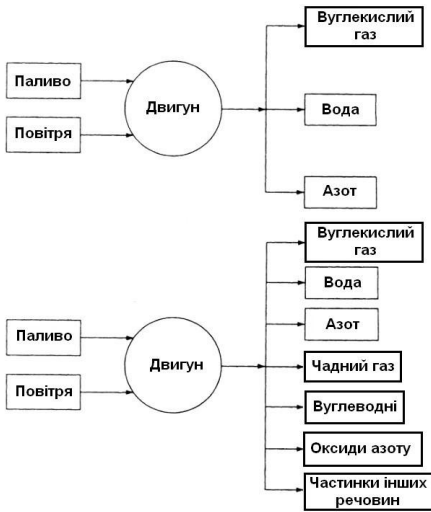


Рисунок 5.11 - Теоретичні результати горіння вуглеводневого палива і фактичні результати аналізу продуктів згоряння

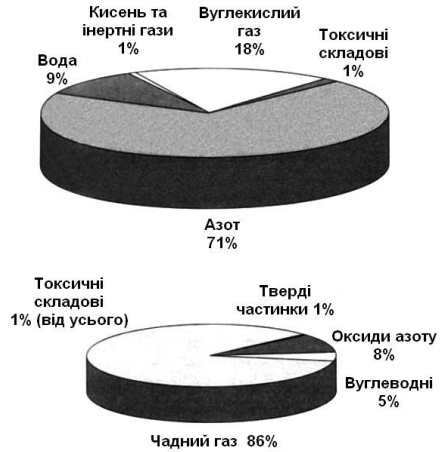


Рисунок 5.12 - Складові вихлопу двигуна внутрішнього згоряння

Верхня частина рисунка - це ідеальна картина, нижня частина - реальний результат при нормальних умовах. Відзначимо, що цей результат отримано при подальшій обробці вихлопу, наприклад, каталітичним конвертером.

На рис. 5.12. показано процентне співвідношення різних складових вихлопних газів. Обсяг забруднювачів є малим, але з огляду на те, що вони виключно отруйні, їх присутність вкрай небажана. Сьогодні існують суворі законодавчі заходи, спрямовані на заохочення скорочення викидів. Фактичні значення обсягів викидів змінюються в залежності від конструкції двигуна, режимів експлуатації, температури, рівномірності руху і деяких інших чинників.

Інші джерела забруднень.

Головне джерело шкідливих викидів транспортного засобу - вихлоп двигуна, але необхідно досліджувати і інші області, що стосуються транспортних засобів.

Оскільки в паливі присутня сірка, областю протистояння між автовиробниками і нафтовими компаніями є питання про те, хто повинен нести витрати з уловлювання паливних випарів на бензозаправних станціях. Проблема емісії паливних випарів (evaporated fuel emissions - EFEs) стала головною метою для захисників навколишнього середовища. Оскільки приблизно 10 % палива випаровується в атмосферу тільки в процесі заправки автомобіля паливом.

У США нафтові компанії виграли битву. А тому всі автомобілі, виготовлені з початку 1998 року, повинні бути обладнані 10-літровими каністрами, заповненими деревним вугіллям, щоб вловлювати і поглинати пари палива. Результат суперечки в Європі досі не визначений, тут йдуть серйозні дебати щодо того, чи повинен збір випарів на заправках бути сферою відповідальності нафтових компаній.

Все ще залишається відкритим питання запобігання випарів безпосередньо з паливного трубопроводу - ще одна ключова проблема для виробника транспортного засобу. Технологічні досягнення в конструкції фактично збільшують паливні випаровування зсередини системи забезпечення паливом. Це відбувається через зростаюче використання пластмас для виготовлення паливопроводів замість металу. Оскільки пластмаси дозволяють бензиновій парі потрапляти в атмосферу. Близькість до паливного баку каталітичних нейтралізаторів, які виробляють величезну кількість тепла, призводить до того що паливо сильно нагрівається і тому більш схильне випаровуватися.

Величина випарів вимірюється в «шедах». Шед («shed» - Sealed Housing for Evaporative Determination - SHED) - це герметичний бокс для визначення випарів палива автомобіля, він використовується двома способами.

1-й спосіб. Транспорт засіб заправлений на 40 % максимального об'єму палива поміщають в камеру і нагрівають (приблизно в діапазоні 14-28 °C), далі вимірюється збільшення концентрації вуглеводнів у повітрі камери.

2-й спосіб. Транспортний засіб спочатку нагрівається впродовж нормального випробувального циклу, а вже потім розміщується в камері. Збільшення концентрації вуглеводнів вимірюється щогодини.

Етиловане і неетиловане паливо.

Тетраетилсвинець вперше почали додавати в бензин в 1920-х роках з метою сповільнити швидкість горіння, поліпшити процес згоряння і збільшити октанове число палива. Це обходилося дешевше,

ніж подальше очищення палива бензиновими компаніями.

Перший реальний крок до використання неетилованого палива був зроблений в Лос-Анджелесі в Каліфорнії. Щоб зменшити серйозну для цього міста проблему смогу, вирішено було використовувати каталітичні конвертери. Однак якщо використовувалося етиловане паливо каталізатор виводився з ладу. Подальше дослідження показало, що свинець також викликає пошкодження головного мозку у дітей, це сповістило кінець ери етилованого палива.

Також згодом був визначений ступінь негативного впливу на навколишнє середовище добавок, що використовуються замість свинцю. Два головних злочинця це бензол, який нерозривно пов'язаний з лейкемією, і антиокислювальна присадка МТВВ (Methyl tertiary butyl), що отруює воду і отруйний майже для всіх живих істот. Ці добавки потенційно набагато страшніші проблеми, ніж свинець, який як згодом виявилось, не такий вже й страшний, як думали на початку.

Важливо, однак, відзначити, що всі ці питання добавок до палива знаходиться ще в стадії обговорення, і для повністю аргументованого висновку необхідні подальші дослідження. Але втім слід зазначити що будь-яка технологічна проблема виявляється набагато більш складною, ніж та причина, через яку вона досліджується в перший раз.

Сучасні двигуни тепер розробляються для роботи на неетилованому паливі, при цьому проводиться зміцнення посадкових місць (сідел) випускних клапанів. В Європі етиловане паливо нині повністю виведено з виробництва. Це стало проблемою для власників класичних, старих транспортних засобів. В принципі, відомо багато видів добавок, але вони не такі хороші як тетраетилсвинець:

- всі двигуни з чавунними голівками, що не мають спеціального посилення сідел випускних клапанів, схильні до ризику пошкодження при роботі на неетилованому паливі. Ступінь пошкодження залежить від конструкції і від обертів двигуна. Ніякі бензинові добавки не запобігають прогару сидла клапана повністю. Одні краще, інші гірше, але жодна з них не замінить дію свинцю;
- мінімальний критичний рівень свинцю в паливі - приблизно 0,07 г на літр. Справжній рівень в деяких видах етилованого палива становить 0,15 г на літр, і ймовірно, можна успішно змішувати етилований і неетилований бензин;
- неможливо точно передбачити швидкість зносу двигуна, не-

- рідко переважає знос тільки в одному циліндрі;
- установка підсилених клапанів або виконання закалка посадочних місць ефективно на всіх двигунах, де ці роботи можуть бути зроблені;
- тести, проведені компанією Rover, виправдовують теорію, що хоча неетилований бензин і пошкоджує всі чавунні головки, менш допитливий водій не буде помічати ніяких проблем з двигуном, поки не подолає певну відстань, яку міг би подолати на етилованому паливі;
- коли незахищені двигуни перевіряють на стенді при роботі з неетилованим паливом і потім повністю розбирають, пошкодження завжди будуть помітні. Однак водії рідко скаржаться на неприємність в роботі від неетилованого палива, можливо, тому, що вони ще не ремонтували свій двигун або не набрали відповідну величину пробігу.

Питання для самоперевірки

1. Від чого залежить швидкість процесу згоряння паливної суміші?
2. Поясніть, що позначається лямбдою (λ) зі значенням 1?
3. Обґрунтуйте п'ять переваг впорскування палива.
4. Опишіть вплив вибору часу запалення на процес згоряння палива.
5. Опишіть вплив якості суміші на процес згоряння.
6. Намалюйте блок-схему паливної системи впорскування, та опишіть коротко призначення кожного компонента.
7. Поясніть процес згоряння палива в дизельному двигуні.
8. Як здійснюється електронне керування процесом впорскування дизельного палива?
9. Обґрунтуйте переваги метода EUI.
10. Перелічіть всі головні компоненти електронної системи керування карбюратором і обґрунтуйте призначення кожного компонента.
11. Зробіть чіткий ескіз, що показує дію паливного інжектора.
12. Опишіть шість джерел шкідливих викидів транспортного засобу й коротко розкажіть, як виготовлювачі автомобілів борються з кожним з них.
13. Які вимоги висуваються до конструкції камери згоряння дизельного двигуна?
14. Перелічіть основні режими роботи двигуна з точки зору використовуваної суміші.

15. В чому полягає різниця між етилованим і неетилованим паливом?
16. Якими параметрами визначається початок впорскування палива у дизельному двигуні?
17. Які основні вимоги до подачі палива в системі з нагрітою ниткою?
18. Розкажіть принцип дії потенціометра.
19. Поясніть особливості технології спалювання бідних сумішей (Mazda).
20. Чим була зумовлена розробка систем впорскування палива із загальним паливопроводом для дизелів?
21. Які складові частини п'єзоінжектора і як він працює?
22. Розкажіть принцип дії дизельного фільтру мікрочасток вихлопу.
23. Яке призначення реагенту AdBlue?
24. Розкажіть загальний алгоритм діагностики помилок системи керування подачею палива.

ЛЕКЦІЯ № 6. СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ

План лекції. Функціональні вимоги. Типи систем запалювання. Кут випередження (регулювання моменту запалення). Споживання палива і склад вихлопних газів. Компоненти класичної системи запалювання. Електронне запалювання. Генератор імпульсів на основі ефекту Холла. Конденсаторна система запалювання. Програмне запалювання. Системи запалювання без розподільника. Пряме запалювання (котушка на свічі). Свічі запалювання.

Література: [11] - [15], [18] - [20], [22], [38].

Функціональні вимоги до систем запалювання.

Основне призначення системи запалювання полягає в тому, щоб забезпечити іскроутворення в циліндрі в кінці фази стиску й запалювати стислий обсяг паливної повітряної суміші.

Щоб іскра пробила повітряний проміжок 0,6 мм при нормальних атмосферних умовах (1 бар) потрібна напруга 2-3 кВ. Щоб іскра пробила подібний проміжок у циліндрі двигуна, що має ступінь стиску 8:1, буде потрібно вже приблизно 8 кВ. Для більш високих ступенів стиску й більш слабких сумішей, може знадобитися напруга до 20 кВ. Система запалювання повинна перетворювати нормальну напругу батареї 12 В до рівня порядку 8-20 кВ і крім того, повинна підвести цю високу напругу до потрібного циліндра в потрібний час. Деякі системи запалювання можуть створювати напругу порядку 40 кВ.

Звичайне (класичне) запалювання є попередником сучасної системи, якою управляє електроніка. Слід відмітити, що принципи функціонування більшості систем запалювання дуже схожі. Одна обмотка котушки підключається до джерела живлення, потім струм у ній переривається, створюючи високу напругу в другій обмотці. Система запалювання з котушкою складається з різних компонентів і вузлів, параметри й конструкція яких залежать в основному від двигуна, у якому система повинна використовуватися.

При розгляді конструкції системи запалювання необхідно взяти до уваги безліч факторів, і найважливішими з них будуть:

- конструкція камери згоряння;
- якість повітряно-паливної суміші;
- діапазон швидкостей двигуна;

- навантаження двигуна;
- температура згоряння палива;
- призначення двигуна;
- регулювання состава продуктів згоряння.

Залежно від способу керування процесом запалювання розрізняють наступні **типи систем запалювання**: контактна, безконтактна (транзисторна) і електронна (мікропроцесорна).

Серцем системи запалювання є **котушка запалювання**, тому що вона забезпечує створення високої напруги в системі. Котушка запалювання застосовується в усіх системах запалювання: контактній, безконтактній, електронній. За своєю суттю котушка запалювання це трансформатор з двома обмотками.

Розрізняють такі типи котушок запалювання: загальна, індивідуальна і здвоєна.

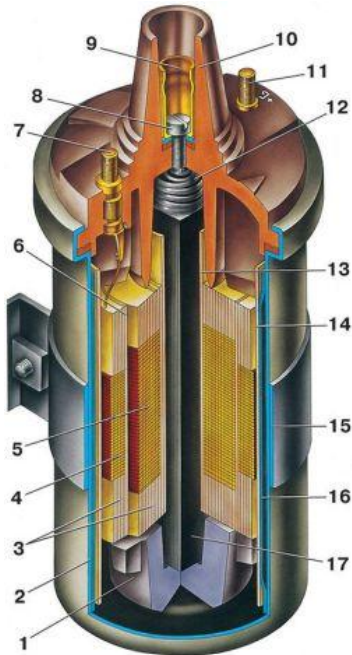
Загальна котушка запалювання застосовується в контактній, безконтактній системах запалювання і електронній системі запалювання з розподільником.

Котушка запалювання має наступний устрій. Котушка об'єднує дві обмотки - первинну і вторинну. Первинна обмотка містить від 100 до 150 витків товстого мідного дроту. Для попередження стрибків напруги і короткого замикання дрiт ізолюваний. Первинна обмотка має два низьковольтних виводу на кришці котушки запалювання.

Вторинна обмотка має від 15 000 до 30 000 витків тонкого мідного дроту. Вторинна обмотка знаходиться всередині первинної обмотки. Один кінець вторинної обмотки з'єднаний з негативною клемою первинної обмотки, інший - з центральною клемою на кришці, що забезпечує вивід високої напруги.

Для підвищення сили магнітного поля обмотки розташовуються навколо залізного сердечника. Обмотки разом з сердечником поміщені в корпус з ізолюючої кришкою. Для запобігання токового нагріву котушка заповнена трансформаторним маслом. Основними характеристиками котушки запалювання є опір обмоток, який для кожної моделі індивідуальний. Для прикладу, опір первинної обмотки становить близько 3-3,5 Ом, вторинної обмотки - 5 000-9 000 Ом.

Відхилення величини опору обмотки від нормативного значення свідчить про несправність котушки. Робота котушки запалювання заснована на виникненні у вторинній обмотці високої напруги при проходженні по первинній обмотці імпульсу струму низької напруги.



- 1 - ізолятор; 2 - корпус;
- 3 - ізоляційний папір;
- 4 - первинна обмотка;
- 5 - вторинна обмотка;
- 6 - ізоляція між обмотками;
- 7 - клемма виведення первинної обмотки; 8 - контактний гвинт;
- 9 - центральна клемма; 10 - кришка;
- 11 - клемма виводів первинної і вторинної обмотки;
- 12 - пружина центральної клемми;
- 13 - каркас вторинної обмотки;
- 14 - зовнішня ізоляція первинної обмотки;
- 15 - скоба кріплення котушки;
- 16 - зовнішній магнітопровід;
- 17 - сердечник

Рисунок 6.1 - Загальна котушка запалювання

При проходженні через первинну обмотку струму створюється магнітне поле. При відсіченні струму магнітне поле наводить у вторинній обмотці струм високої напруги, який виводиться через центральну клему котушки і за допомогою розподільника подається до свічок запалювання.

Індивідуальна котушка запалювання застосовується в електронній системі прямого запалювання. Як і загальна котушка запалювання, вона включає первинну і вторинну обмотки. Тут, навпаки, первинна обмотка знаходиться всередині вторинної. У первинній обмотці встановлений внутрішній сердечник, а навколо вторинної - зовнішній сердечник.

В індивідуальній котушці запалювання можуть розташовуватися електронні компоненти запалювача. Висока напруга, що виробляється у вторинній обмотці, подається безпосередньо на свічку запалювання за допомогою наконечника, що включає стрижень високої напруги, пружину та ізолюючу оболонку. Для швидкого відсікання струму ви-

сокої напруги у вторинній обмотці встановлюється діод високої напруги.



Рисунок 6.2 - Індивідуальні котушки запалювання

Здвоєна котушка запалювання (інше найменування - двохвивідна котушка запалювання) застосовується в багатьох конструкціях електронної системи прямого запалювання. Здвоєна котушка має два високовольних виводи, які забезпечують синхронне отримання іскри двома циліндрами одночасно. При цьому тільки один циліндр знаходиться в кінці такту стиснення. В іншому циліндрі іскра виникає входу на такті випуску відпрацьованих газів.

Двохвивідна котушка запалювання може мати різне з'єднання зі свічками запалювання:

- за допомогою проводу високої напруги;
- одна свіча - безпосередньо через наконечник, інша - за допомогою дроту високої напруги.

Конструктивно дві двохвивідні котушки можуть об'єднуватися в єдиний блок, який носить власну назву - чотирьохвивідна котушка

запалювання.

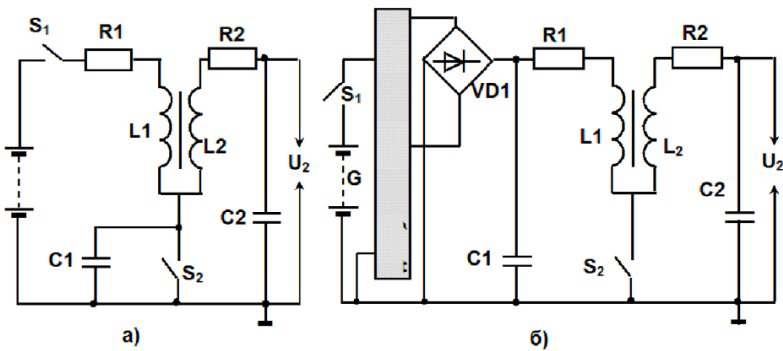
Генерація високої напруги для свічок запалювання.

У перші 20 років минулого століття двигуни автомобілів для запалювання паливної суміші зазвичай оснащувалися магнето, тобто генератором високої напруги, який приводився від двигуна й не вимагав наявності акумулятора.

Проте для роботи світлових приладів автомобіля все одно був потрібен акумулятор, тому стара система запалювання була поступово витиснута більш прогресивною – катушковою, яка була вперше запатентована у 1908 р. К.Ф. Кеттерінгом з «Dayton Engineering Laboratories Company» (DELCO) і не перетерпіла істотних змін за минулі 100 років. Проте розвиток електроніки поклав кінець монополії Кеттерінга, і за останні 20 років у конструкцію систем запалювання було внесено змін більше, чим за всі попередні роки.

Отже, батарейно-катушкова система запалювання все ще застосовується на багатьох автомобілях, і розуміння принципів її роботи має велике значення, хоча тепер вона є лише частиною великої групи різноманітних систем.

По способу накопичення енергії розрізняють системи з накопиченням енергії в індуктивності і в ємності (рис. 6.3).



а - з накопиченням енергії в індуктивності;

б - з накопиченням енергії в ємності

Рисунок 6.3 - схеми запалювання

В обох випадках для одержання імпульсу високої напруги використовується катушка запалювання, яка представляє собою високово-

льтний трансформатор, що містить дві обмотки: первинну з малим числом витків і омичним опором у долі й одиниці Ом, і вторинну з більшим числом витків і омичним опором в одиниці й десятки кОм.

Коефіцієнт трансформації котушки лежить у межах $50 \div 150$. Значна кількість енергії, яка потрібно для запалення робочої суміші, накопичити в конденсаторі (ємності) прийнятних розмірів при досить низькій напрузі бортової мережі неможливо, і тому система, представлена на рис. 6.3, б, обладнана високовольтним перетворювачем напруги. Таке ускладнення не дає істотних переваг, тому системи з накопиченням енергії в ємності на автомобілях практично не застосовуються.

Принцип роботи схеми, зображеної на рис. 6.3, а, характерний для всіх систем запалювання, встановлюваних на автомобілях. Вимикач запалювання S_1 включає систему в мережу живлення. При обертанні вала двигуна відбувається замикання контактів механізму переривника S_2 , і струм I_1 починає наростати в первинному ланцюзі котушки запалювання по експоненті (рис. 6.4, а).

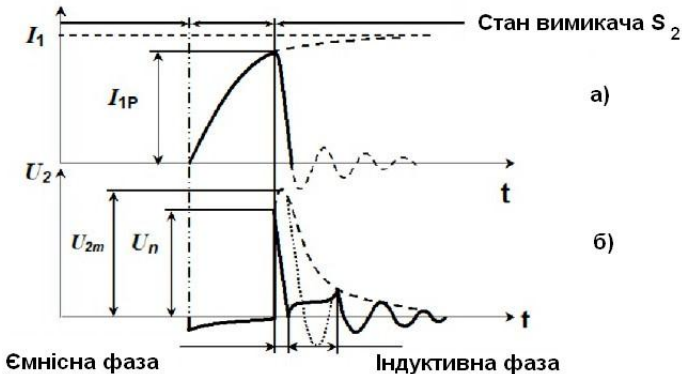


Рисунок 6.4 - Епюри струму в первинному ланцюзі (а) і напруга у вторинному ланцюзі (б) системи запалювання

У момент, необхідний для подачі іскрового імпульсу на запалювання (напруга U_2), переривник S_2 розриває свої контакти, після чого виникає коливальний процес, пов'язаний з обміном енергією між магнітним полем котушки й електричним полем у ємностях C_1 і C_2 . Амплітуда коливань напруги, прикладеної до електродів свічі U_2 , збуває по експоненті (штрихова лінія на рис. 6.4, б).

Однак має інтерес лише перша півхвиля напруги, тому що, якщо її максимальне значення U_{2m} перевищує напруга пробою іскрового проміжку U_n , то виникає необхідна для запалювання іскра.

Величина U_{2m} залежить від коефіцієнта трансформації котушки запалювання $K_T = W_2/W_1$ (W_1 і W_2 відповідно число витків первинної й вторинної обмоток котушки), струму первинної обмотки в момент розриву I_p , а також індуктивності L_1 і ємності C_1 первинної й C_2 вторинного ланцюгів:

$$U_{2m} \approx I_{1p} \cdot \sqrt{\frac{L_1}{C_1 \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right) + C_2}} \cdot K_T \quad (6.1)$$

Коефіцієнт K_{Π} враховує втрату енергії в активних опорах первинної R_1 і вторинного R_2 ланцюгів, в опорі нагару $R_{ш}$, шунтуючого іскровий проміжок, а також у сердечнику котушки при його перемагнічуванні. Звичайно K_{Π} лежить у межах $0,7 \div 0,8$. Вплив нагару на свічках, на іскроутворення, значно знижується зі збільшенням швидкості наростання вторинної напруги. У сучасних системах ця швидкість лежить у межах $(200 \div 700)$ В/мкс.

Після пробою іскрового проміжку вторинна напруга різко зменшується (рис. 6.4, б). При цьому в іскровому проміжку спочатку іскра має ємнісну фазу, пов'язану з розрядом ємностей на проміжок, а потім індуктивну, під час якої в іскрі виділяється енергія, накопичена в магнітному полі котушки.

Ємнісна складова іскри звичайно короткочасна, дуже ярка, має блакитнувате світіння. Сила струму в іскрі велика навіть при малій кількості електрики, що протікає в ній.

Індуктивна складова відрізняється значною тривалістю, невеликою силою струму, великою кількістю електрики й неясним червонуватим світінням. Осцилограма вторинної напруги, що відповідає рис. 6.4, б, є ознакою нормальної роботи системи запалювання. Про нормальну роботу свідчить і вид іскри між електродами свічі. У справній системі вона має яскраве ядро, оточене полум'ям червонуватого кольору. Розподіл запалювання по циліндрах може проводитися як на високовольтній, так і на низьковольтній стороні.

При низьковольтному розподілі кожна котушка запалювання

обслуговує два або чотири циліндри. У першому випадку котушка має два високовольтні виводи (двохвивідна котушка), у другому чотири (чотирьохвивідна). Імпульси напруги на обох виводах двоховивідної котушки з'являються одночасно, але один з них подається в циліндр у такті стиску й робить запалення робочої суміші, а в іншому циліндрі в цей час надлишковий тиск відсутній, і виділена в іскрі енергія витрачається вхолосту. Чотирьохвивідна котушка постачена первинною обмоткою, що полягає із двох секцій, що працюють поперемінно.

Високовольтні діоди забезпечують поділ ланцюгів, тому що високовольтні імпульси такої системи різнополярні. Це є недоліком системи із чотирьохвивідною котушкою, оскільки залежно від полярності імпульсу, напруга пробій на свічі може відрізнятись на $1,5 \div 2$ кВ. Котушка може обслуговувати й один циліндр, у цьому випадку вона звичайно розташовується безпосередньо на свічі.

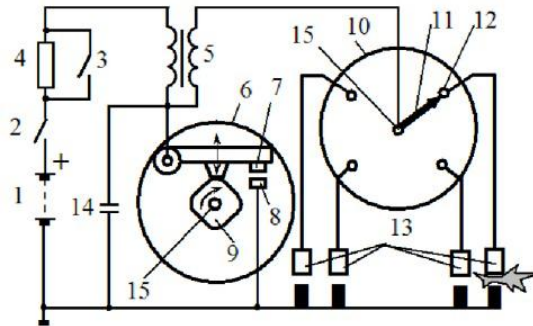
У даний час досить поширений високовольтний розподіл запалювання, однак, розвиток електроніки дозволяє перейти, вірніше, повернутися до низьковольтного розподілу, який був, наприклад, на перших автомобілях фірми «Форд», де були 4 переривника й 4 котушки запалювання.

Схеми систем запалювання.

Як вже було сказано раніше, при однаковому принципі роботи, системи запалювання по своїх конструктивних і схемних рішеннях діляться на контактну систему (інакше її називають класичною), контактно-транзисторну й безконтактну електронні системи запалювання.

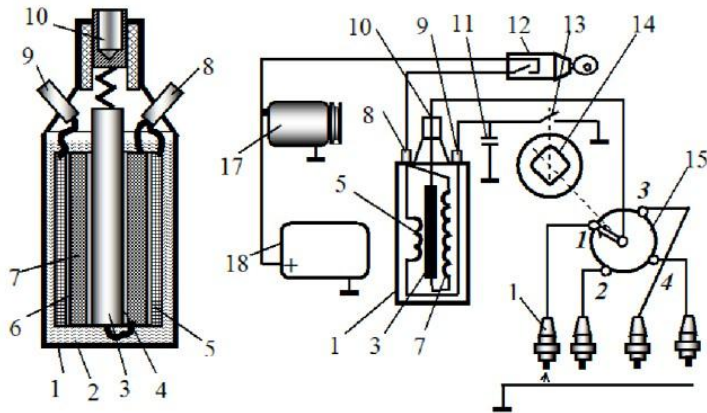
У **контактній системі запалювання** (рис. 6.5) комутація в первинному ланцюзі запалювання здійснюється механічним кулачковим переривним механізмом (переривник-розподільник запалювання). Кулачок 14 переривника (рис. 6.6) пов'язаний з колінчатим валом двигуна через зубчасту, ланцюгову або зубчасто-ремінну передачу, причому частота обертання вала кулачка вдвічі менша частоти обертання вала двигуна, тобто кулачок обертається із частотою розподільного валу.

Кут випередження запалювання встановлюється зміною положення кулачка щодо приводного вала або кутового положення пластини переривника, на якій закріплена вісь його рухливого важільця. Час замкненого й розімкнутого стану контактів визначається конфігурацією кулачка, частотою обертання n і зазором між контактами. Додатковий резистор 4 (рис. 6.5) усуває вплив зниження напруги в бортовій мережі при включенні системи запалювання.



- 1 - акумуляторна батарея; 2,3 - контакти вимикача запалювання;
 4 - додатковий резистор; 5 - котушка запалювання; 6 - переривник;
 7, 8 - рухомий і нерухомий контакти переривника; 9 - кулачок;
 10 - розподільник; 11 - ротор; 12 - нерухомий електрод;
 13 - свічки запалювання; 14 - конденсатор; 15 - ось ротора

Рисунок 6.5 - Принципова схема класичної
 контактної системи запалювання



- 1 - кожух; 2 - трансформаторне масло; 3 - сердечник; 4 - ізолятор;
 5 - первинна обмотка; 6 - ізолятор; 7 - вторинна обмотка; 8 - клемма;
 9 - клемма; 10 - центральна клемма; 11 - конденсатор; 12 - замок запалювання;
 13 - контакт переривника; 14 - кулачок переривника;
 15 - розподільник переривника; 16 - свічки запалювання;
 17 - генератор; 18 - акумуляторна батарея

Рисунок 6.6 - Схема котушки і системи запалювання
 без додаткового резистора

Для цього він при пуску закорочується, при нормальній роботі на нього падає частина напруги так, що до котушки запалювання підходить напруга $7 \div 8$ В, на яку вона й розрахована. Додатковий резистор виконується з нікелевого або константанового дроту, має опір $1 \div 1,9$ Ом і розташовується або на котушці запалювання, або поза нею.

Виготовлення додаткового резистора з нікелевого дроту дозволяє йому виконувати додаткову функцію - захист первинного ланцюга від перевантаження, можливого на малій частоті обертання колінчатого вала. Опір нікелевого резистора з ростом сили струму зростає. У конструкціях, де напруга при пуску знижується мало, додатковий резистор не застосовується.

Розподільний механізм із переривником, об'єднані в один вузол «переривник-розподільник», підводить вивід вторинної обмотки котушки запалювання через контактний вуглик до обертового електрода (ротору), встановленому на одному валу з кулачком переривника.

При обертанні ротора, висока напруга послідовно, через повітряний проміжок приблизно в 0,5 мм, електроди розподільника й високівольтні проводи, подається на свічі.

Момент проходження ротора повз кожний електрод розподільника синхронізований з розмиканням контактів переривника.

Котушка запалювання являє собою автотрансформатор із двома обмотками. Призначена для одержання високої напруги до 24 кВ і більше із низької напруги бортової мережі 12 В. Первинна обмотка містить $180 \div 330$ витків проводу діаметром $0,57 \div 1,25$ мм, вторинна — $18\,000 \div 41\,000$ витків проводу діаметром $0,06 \div 0,09$ мм.

При низькому опорі первинної обмотки (менше 3 Ом) послідовно до неї включається додатковий резистор, що підвищує активний опір первинного ланцюга автотрансформатору. Загальний опір котушки складається з активного (визначається характеристикою матеріалу, довжиною й перетином проводу, а також температурою провідника) і реактивного опорів (залежить від кількості витків, характеристики магнітопроводу й частоти змінного струму).

При збільшенні частоти обертання двигуна росте частота розмикання в первинному ланцюзі автотрансформатора. При цьому час протікання струму по первинній обмотці зменшується, її провід нагрівається менше, і опір його падає, у зв'язку із чим сила струму, що протікає по котушці, зменшується незначно, і індукована сила струму у вторинній обмотці залишається досить високою.

При зниженні обертів двигуна, час, протягом якого первинна обмотка підключена до системи живлення, зростає, провід первинної обмотки разом з додатковим резистором нагріваються ще сильніше, його опір зростає й обмежує силу струму.

Сердечник 3 котушки (рис. 6.6) виготовляється з набору тонколистових пластин, ізолюваних друг від друга окалиною. Це дозволяє зменшити шкідливий вплив струмів Фуко (вихрових індукційних струмів), що розігрівають сердечник. Кулачок 14 переривника одержує обертання від вала двигуна й служить для розмикання контакту 13, установленого нерухомо на переривнику-розподільнику.

Разом з кулачком на одній осі обертається розподільник 15, при проходженні якого повз контакти 1-2-3-4 він передає високу напругу свічам запалювання 16.

На рис. 6.7, а представлений приклад залежності вторинної напруги U_{2m} від частоти обертання n колінчатого вала двигуна.

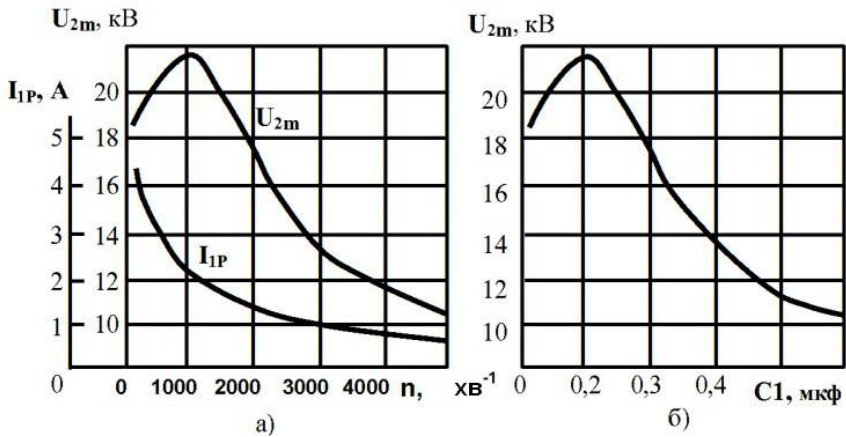


Рисунок 6.7 - Залежність сили струму в момент розриву первинного ланцюга I_{1p} і вторинної напруги U_{2m} контактної системи запалювання від частоти обертання колінчатого вала n (а) і вторинної напруги U_{2m} від ємності первинного ланцюга $C1$ (б)

Час t замкненого стану контактів переривника визначається вираженням:

$$t = \frac{120 \cdot k}{n \cdot z}, \quad (6.2)$$

де z - число циліндрів двигуна;
 k - коефіцієнт, що залежить від профілю кулачка.

При росту частоти обертання час замкненого стану контактів зменшується, а, виходить, зменшується сила струму в момент розриву контактів I_{1p} і, як наслідок, знижується вторинна напруга. Зниження U_{2m} при малій частоті обертання пояснюється іскрінням контактів при повільному їхньому розходженні.

На рис. 6.7, б наведена залежність вторинної напруги від ємності C_1 , що включається паралельно контактам переривника для зниження їхнього іскріння. При малій ємності C_1 іскріння все-таки виникає, і напруга знижується. Однак і збільшення ємності C_1 також знижує вторинна напруга, тому конденсатор підбирається до кожної системи індивідуально. Зазвичай ємність конденсатора C_1 лежить у межах $0,17 \div 0,35$ мкФ.

Амплітуда вторинної напруги знижується і з ростом ємності вторинного ланцюга C_2 . Це створює проблему у випадку застосування екранованої системи запалювання, тому що екранування викликає підвищення вторинної ємності. Екранування системи застосовується для зниження рівня радіоперешкод, створюваних системою запалювання.

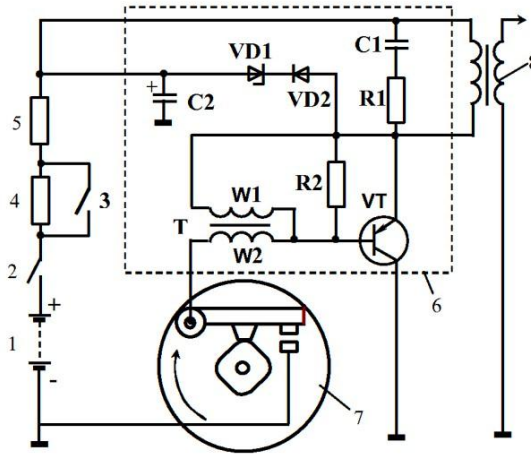
Контактно-транзисторна система запалювання.

Стала перехідним етапом від контактної до безконтактної електронної системи. У ній усувається недолік контактної системи - підгоряння й зношування контактів переривника, комутуючих ланцюг з індуктивністю й значною силою струму. У контактно-транзисторній системі первинний ланцюг обмотки збудження комутує транзистор, керований контактами переривника.

Із застосуванням контактно-транзисторної системи на автомобілі з'явився новий блок - електронний комутатор, що поєднує в собі силовий комутуючий транзистор і елементи схеми його керування й захисту. На рис. 6.8 представлена схема контактно-транзисторного запалювання з комутатором ТК102, яка забезпечує запалювання восьмициліндрових двигунів автомобілів ЗІЛ та ГАЗ.

При замиканні контактів переривника через них починає протікати базовий струм транзистора VT, який відкривається й включає первинний ланцюг обмотки збудження в живильну мережу. При розмиканні контактів переривника транзистор VT закривається, струм у первинному ланцюзі різко переривається й на свічах з'являється

сплеск високої напруги, як це й було в контактній системі. Характеристики контактно-транзисторної системи аналогічні контактній, за винятком того, що зниження вторинної напруги на низьких частотах обертання кулачка не відбувається. Імпульсний трансформатор Т у схемі прискорює запирання транзистора, ланцюг VD1, VD2 захищає транзистор від перенапруг, а конденсатор C2 - від випадкових імпульсів напруги по ланцюгу живлення.



- 1 - акумуляторна батарея; 2, 3 - контакти вимикача запалювання;
4, 5 - додаткові резистори; 6 - комутатор; 7 - переривник;
8 - котушка запалювання

Рисунок 6.8 - Схема контактно-транзисторної системи запалювання з комутатором

Конденсатор C1 сприяє зменшенню комутаційних втрат у транзисторі. Додатковий резистор 4 закорочується при пуску. Термін служби контактів переривника в контактно-транзисторній системі більше, чим у контактній, тому що базовий струм, що комутується ними, невеликий. Однак механічне зношування механізму переривника й вплив вібрацій на роботу контактів у цій системі не усунуті.

Електронні системи запалювання.

В електронних системах запалювання контактні переривники замінені безконтактними датчиками. В якості датчиків використовуються оптоелектронні датчики, датчики Віганда, але найбільш часто -

магнітоелектричні датчики (МЕД) і датчики Хола (ДХ).

МЕД бувають генераторного й комутаторного типів. У генераторному датчику обертається постійний магніт, поміщений усередину дзюбоподібного магнітопроводу. При цьому в котушці, надягнутої на свій дзюбоподібний магнітопровід, наводиться ЕРС. У МЕД комутаторного типу обертається зубчастий ротор з магнітом'якого матеріалу, а магніт нерухливий. ЕРС у котушці наводиться за рахунок зміни величини її магнітного потоку при збігу й розбіжності виступів статора й ротора. Недоліком МЕД є залежність вихідного сигналу від частоти обертання, а також значна індуктивність котушки, що викликає запізнювання в проходженні сигналу.

Від цих недоліків позбавлений датчик Холу. Особливість його полягає в тому, що ЕРС, що знімається із двох граней його чутливого елемента, пропорційна добутку сили струму, що підводиться до двох інших граней, на індукцію магнітного поля, що пронизує датчик. У реальних системах магнітне поле створюється нерухливим магнітом, який відділений від датчика магнітом'яким екраном із прорізами.

Якщо між магнітом і чутливим елементом попадає сталевий виступ, магнітний потік ним шунтується й на датчик не попадає, ЕРС на виході чутливого елемента відсутня. Проріз безперешкодно пропускає магнітний потік, і на виході елемента з'являється ЕРС.

Найбільш простою у схемному й функціональному виконанні є безконтактна система запалювання з нерегульованим часом накопичення енергії. Безконтактні системи запалювання з нерегульованим часом накопичення енергії.

Така система запалювання принципово відрізняється від контактно-транзисторної тільки тим, що в ній контактний переривник замінений безконтактним датчиком. На рис. 6.9 наведена схема системи з комутатором 13.3734-01 автомобілів ГАЗ.

Сигнал з обмотки L магнітоелектричного датчика через діод VD2, що пропускає тільки позитивну півхвилю напруги, і резистори R₂, R₃ надходить на базу транзистора VT1. Транзистор відкривається, шунтує перехід база-емітер транзистора VT2, який закривається. Закривається й транзистор VT3, струм у первинній обмотці котушки запалювання переривається й на виході вторинної обмотки виникає висока напруга. У негативну півхвилю напруги транзистор VT1 закритий, відкриті VT2 і VT3, і струм починає протікати через первинну обмотку котушки запалювання. Очевидно, що число пар полюсів дат-

чика повинне відповідати числу циліндрів двигуна.

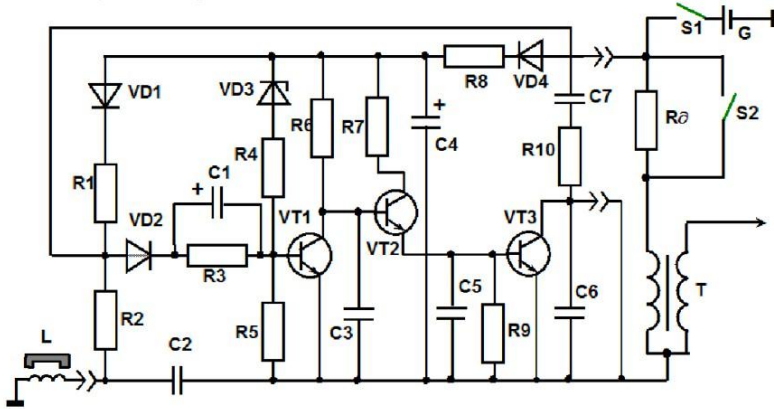


Рисунок 6.9 - Принципова електрична схема безконтактної системи запалювання з комутатором

Ланцюг R3-C1 здійснює фазозсувні функції, що компенсують фазове запізнювання протікання струму в базі транзистора VT1 через значну індуктивність обмотки датчика L, що знижує погіршність моменту іскроутворення.

Стабілітрон VD3 і резистор R4 захищають схему комутатора від підвищеної напруги в аварійних режимах, тому що, якщо напруга в бортовому ланцюзі перевищує 18 В, ланцюг починає пропускати струм, транзистор VT1 відкривається й закривається вихідний транзистор VT3. У ланцюгах захисту від небезпечних імпульсів напруги служать конденсатори C3, C4, C5, C6; діод VD4 захищає схему від змін полярності бортової мережі.

Форма й величина вхідної напруги магнітоелектричного датчика змінюються із частотою обертання, що впливає на момент іскроутворення. Крім того, у системі, не усунутий істотний недолік контактного запалювання - зменшення вторинної напруги при зростанні частоти обертання колінчатого вала. Тому більш перспективна система з регулюванням часу накопичення енергії.

Безконтактна система запалювання з регулюванням часу накопичення енергії.

Регулюючи час накопичення енергії, тобто час, коли первинний ланцюг котушки запалювання підключений до мережі живлення, мо-

жна зробити струм розриву цього ланцюга незалежним або мало залежним від частоти обертання колінчатого вала двигуна, а виходить, і позбутися недоліку контактної системи запалювання - зниження вторинної напруги з ростом частоти обертання.

Принцип такого регулювання полягає в тому, щоб з ростом частоти обертання збільшити відносний час включення котушки запалювання в мережу так, щоб абсолютний час включення залишився незмінним. На рис. 6.10 представлена система запалювання автомобілів ВАЗ з електронним комутатором 36.3734-20 і датчиком Хола.

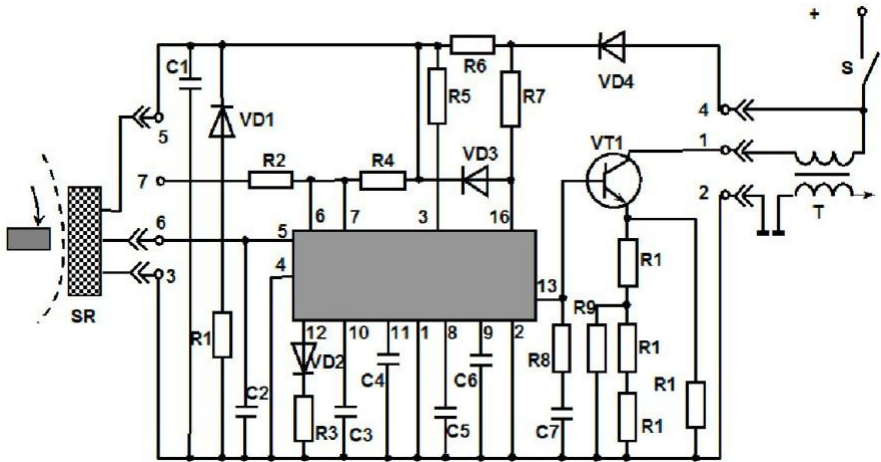


Рисунок 6.10 - Принципова електрична схема безконтактної системи запалювання з регулюванням часу накопичення енергії

У комутаторі застосована мікросхема L497B. Стабілізація вторинної напруги досягається в схемі двома шляхами: регулюванням часу знаходження транзистора VT1 у відкритому стані (тобто часу включення первинного ланцюга котушки запалювання в мережу) або обмеженням сили струму в первинному ланцюзі значенням близько 8 А. Останнє, крім того, запобігає перегріву котушки.

Схема працює в такий спосіб. З датчика Хола на вхід комутатора приходить сигнал прямокутної форми, який приблизно на 3В менше напруги живлення, із тривалістю, відповідною до проходження виступів екрана повз чутливий елемент датчика. Нижній рівень сигнала

лу 0,4 В відповідає проходженню прорізу. У момент переходу від високого рівня до низького, відбувається іскроутворення. У мікросхемі комутатора сигнал у блоці формування періоду накопичення енергії спочатку інвертується, потім інтегрується.

На виході інтегратора утворюється шпильаста напруга, яка тим більше, чим менше частота обертання двигуна. Ця напруга надходить на вхід комутатора, на інший вхід якого подана опорна напруга.

Компаратор вчасно перетворює напругу. Сигнал на виході компаратора має місце тоді, коли значення пілкоподібної напруги досягає опорного й перевищує його.

При великій частоті обертання пілкоподібна напруга мала, відповідно й мала тривалість сигналу на виході компаратора. Зі зникненням вихідного сигналу компаратора через схему керування відкривається транзистор VT1 і первинний ланцюг запалювання включається в мережу. Отже, час накопичення енергії в котушці відповідає часу відсутності сигналу на виході компаратора. Зменшення тривалості сигналу компаратора дозволяє збільшити відносну величину часу накопичення енергії й тим самим стабілізувати її абсолютне значення.

Блок обмеження сили вихідного струму спрацьовує по сигналу, що знімається з резисторів, включених послідовно в первинний ланцюг запалювання. Якщо цей сигнал досягає рівня, відповідного до сили струму 8 А, блок переводить вихідний транзистор в активний стан з фіксуванням цього значення струму.

Блок безіскрового відсічення відключає котушку запалювання у випадку, якщо включене електроживлення, але вал двигуна нерухливий. При зупиненому після обертання двигуні відключення відбувається відразу, а якщо ні, то - через 2-5 с.

Схема насичена елементами захисту від сплесків напруги й включення зворотної полярності живлення. Регулювання кута випередження запалювання здійснюється традиційними способами, тобто відцентровим і вакуумним регуляторами.

Мікросхема L497B застосовується у двоканальному комутаторі 64.3734-20 для систем з низьковольтним розподільником енергії. У комутаторі 6420.3734 застосований вихідний транзистор BY 931 ZPF1 із внутрішнім захистом від перенапруги, що значною мірою підвищує надійність роботи комутатора.

Електронні пристрої керування моментом запалювання.

За принципом дії електронні пристрої керування моментом за-

палювання можуть бути класифіковані на аналогові й дискретні. Усі вони засновані на тому, що вироблюваний датчиком положення колінчатого вала сигнал формується відповідним чином і подається на комутатор первинного струму, тобто відсутній твердий механічний зв'язок між датчиком і котушкою запалювання.

Електронні пристрої керування усувають недоліки механічних автоматів, які полягають у наступному:

- механічні автомати реалізують, як правило, найпростіші характеристики, що позначається на роботі двигуна негативно - втрачається потужність і економічність;
- згодом пружини автоматів послабляються, і потрібно їх регулювати або замінити;
- велика інерційність спрацьовування та гістерезис;
- через випар і стікання змащення вимагає періодичного обслуговування.

Створенню систем запалювання, заснованих на аналоговому принципі одержання й обробки інформації, сприяє, насамперед, їх невисока вартість і простота побудови.

У дискретних системах керування керуюча залежність записується в постійний запам'ятовувальний пристрій, звідки надалі, залежно від режиму роботи двигуна, зчитується той або інший кут випередження запалювання. Перевагою дискретних систем керування є менша в порівнянні з аналоговими системами схильність впливу зміни зовнішніх умов (температури, напруги живлення), а також можливість одержання оптимальних керуючих характеристик.

Дискретні системи керування можна розділити на два класи: цифрові системи (або системи керування із твердою логікою) і мікропроцесорні системи керування (або системи із програмувальною логікою).

Цифрові системи запалювання являють собою невеликі, різні по складності обчислювачі, порядок роботи яких задається спеціальним алгоритмом, реалізованим за допомогою з'єднаних у певній послідовності цифрових інтегральних схем. Вони є більш простими, надійними й дешевими в порівнянні з мікропроцесорними системами керування. Однак вони не дозволяють реалізувати керування кутом випередження запалювання з урахуванням великого числа параметрів внаслідок значного збільшення апаратних витрат.

Розвиток мікропроцесорної системи запалювання йде по шляху

ускладнення керуючих залежностей. Керування кутом випередження запалювання здійснюється в залежності не тільки від частоти обертання колінчатого вала, навантаження й температури двигуна, але також і від інших параметрів, наприклад температури усмоктуваного повітря, положення дросельної заслінки, включеної передачі.

Обчислювальний модуль подібних систем являє собою сукупність апаратно з'єднаних функціональних пристроїв (лічильників, регістрів, тригерів і т.д.).

Програмувальні системи з'явилися проміжним кроком до систем керування кутом випередження запалювання (KB3) на базі мікропроцесорів і микроЕОМ.

Перші системи, у яких в якості обчислювального блоку використовувався мікропроцесор, були розроблені фірмами Chrysler (Lean Burn, 1976), Delko Electronics (Misar, 1977), Ford (EEC-1, 1978).

У цих системах також використовувався принцип програмного регулювання, у якості недоліків якого слід зазначити:

- низьку ефективність, обумовлену необхідністю одночасного обліку великої кількості параметрів зі складними функціональними зв'язками;
- високу вартість системи, пов'язану з великим числом точних датчиків, що задовольняють вимогам експлуатації автомобіля;
- низьку точність відтворення оптимальних параметрів, пов'язану з технологічним розкидом характеристик двигуна й впливом випадкових факторів експлуатаційного характеру, важко або таких, що зовсім не піддаються прогнозуванню при складанні програм регулювання.

Крім вище названих, з'являються системи програмного регулювання, що мають зворотні зв'язки (змішані системи, або, так звані замкнені системи керування KB3), у яких значення KB3 змінюється з урахуванням ряду вхідних параметрів двигуна.

У більшості випадків розроблювачі намагаються використовувати параметри зворотного зв'язку, що побічно характеризують параметри оптимізації системи контролю детонації, системи збідніння складу суміші, системи стехіометричного контролю складу суміші по вмісту кисню в продуктах згоряння.

По способу керування моментом іскроутворення замкнені системи можна розділити на адаптивні й екстремальні.

В *адаптивних системах керування* момент іскроутворення, визначений по заздалегідь заданій програмі, коректується залежно від того або іншого вихідного параметра двигуна. До адаптивних систем можна віднести системи контролю детонації, а також системи, що враховують вміст кисню у вихлопних газах. Вони забезпечують більшу ефективність регулювання кута випередження запалювання й вільні від вищевказаних недоліків програмувальних систем автоматичного керування. В адаптивних системах здійснюється безперервний пошук оптимуму по заданому параметру.

В *екстремальних системах керування* оптимальний момент іскроутворення визначається не по заздалегідь заданому полю характеристик, а за максимальним значенням одного з вихідних параметрів двигуна. До таких систем можна віднести системи керування по максимуму індикаторної потужності, по максимуму крутного моменту на колінчатому валу двигуна і т.д.

Прикладом замкненої системи керування моментом іскроутворення може також служити система запалювання, що використовує для регулювання кута випередження запалювання параметри поширення фронту полум'я при згорянні паливно-повітряної суміші.

Експериментальні дослідження показали, що для досягнення максимальної потужності й економічності двигуна при поширенні полум'я в камері згорання, його фронт повинен досягати стінок камери в проміжку кута повороту колінчатого вала $10-20^\circ$. Ця умова використовується для визначення оптимального значення КВЗ.

Основними труднощами при створенні замкнених систем керування є керування КВЗ при несталих режимах роботи двигуна. Тому для регулювання моменту іскроутворення в цей час використовують системи з розімкнутим керуванням, а керування по замкненому контуру використовують у якості корекції при режимах роботи двигуна, що встановилися.

Необхідно відзначити, що проведених досліджень регулювання КВЗ на системах запалювання, заснованих на аналоговому принципі одержання й обробки інформації, вкрай недостатньо.

Хоча в порівнянні з мікропроцесорною системою та іншими електронними системами запалювання аналогова електромеханічна система має ряд переваг (простота конструкції, невисока вартість, гarna ремонтпридатність, мала трудомісткість виготовлення), вона має деякі недоліки, наприклад обмеження реалізованих характеристик.

Питання для самоперевірки

1. У якому році була запатентована котушкова система запалювання, та із чого вона складається?
2. У чому полягає різниця між системами з накопиченням енергії в ємності й у конденсаторі, яка з них одержала найбільше поширення й чому?
3. У який момент часу різко підвищується напруга у вторинній обмотці котушки запалювання й чому?
4. Яка основна вимога пред'являється до напруги вторинної обмотки котушки запалювання?
5. Яка складова напруги у вторинній обмотці більше по амплітуді, а яка - триваліша в часі?
6. Чим приводиться в рух кулачок переривника і яка його роль у роботі системи запалювання?
7. Навіщо в первинний ланцюг котушки запалювання включають додатковий резистор?
8. Через який механізм висока напруга подається до свічок запалювання?
9. Що являє собою котушка запалювання, із чого вона складається і як працює?
10. Як змінюється вторинна напруга котушки запалювання залежно від частоти обертання двигуна й чому?
11. Чим відрізняється контактно-транзисторна система запалювання від контактної, як вона працює й в чому її перевага?
12. Якими пристроями в електронних системах запалювання замінений переривник контактної системи?
13. Як працює безконтактна система запалювання з нерегульованим часом накопичення енергії і в чому її недолік?
14. У чому перевага безконтактної системи запалювання з регулюванням часу накопичення енергії і як працює її електронна схема?
15. У чому принципова відмінність електронних систем запалювання від контактних і контактно-транзисторних, і які недоліки останніх вони усувають?
16. У чому перевага дискретних систем керування моментом запалювання перед аналоговими?
17. Чим відрізняються адаптивні системи керування моментом запалювання від екстремальних?

18. У чому перевага безконтактних датчиків положення колінчатого вала в порівнянні з контактними?
19. Опишіть роботу оптичного генератора імпульсів.
20. Що таке «ефект Холла», як він використовується в датчику положення колінчатого вала і в чому його перевага в порівнянні з оптичним генератором?
21. У чому полягає принцип роботи індукційного датчика положення і як він влаштований?
22. Навіщо корегують форму сигналів датчиків у частотних системах керування моментом запалювання?
23. Як працює навантажувальний автомат кута випередження запалювання і яку функцію він виконує?
24. Опишіть структурну схему дискретної системи керування моментом запалювання.
25. Які переваги мають мікропроцесорні системи керування моментом запалювання в порівнянні із цифровими?
26. Що таке «карта запалювання» і як вона використовується в мікропроцесорній системі керування?
27. Поясніть схему цифрового керування моментом запалювання.
28. Який датчик дає мікропроцесору інформацію про навантаження двигуна?
29. Як сигнали датчика детонації використовуються для керування моментом запалювання?
30. Що таке «термістор» і як він використовується в датчику температури?
31. У чому полягає недолік індукційних датчиків частоти обертання двигуна?

ЛЕКЦІЯ № 7. ЕЛЕКТРОННЕ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

План лекції. Об'єднане керування запаленням і подачею палива. Вплив конструкції двигуна на обсяг шкідливих викидів. Каталітичні конвертери (нейтралізатори). Лямбда-контроль в замкнутому контурі керування. Контроль вихлопу дизеля. Система Cartronic компанії Bosch. Система GDI (Mitsubishi). Система Bosch Motronic M3. Безпосереднє впорскування палива (Bosch). Напрямки вдосконалення систем керування двигуном.

Література: [1], [4], [11] - [15].

Оскільки поряд з вимогами підвищення якості роботи двигуна внутрішнього згорання зберігаються й вимоги по зниженню шкідливих викидів, інженери постійно досліджують усі можливості керування двигуном. Контроль викидів стає навіть більш важливим, тому що з кожним роком зростають вимоги щодо зменшення викидів шкідливих газів. В даній темі розглянуті деякі з існуючих і потенційних областей керування роботою двигуна внутрішнього згорання. Хоча деякі із загальних питань керування двигуном вже були розкриті у двох попередніх темах, у даній темі ми більш докладно розглянемо додаткові аспекти керування й методи регулювання двигунів. Ось перелік деяких питань із вже вказаних головних проблем:

- момент запалювання суміші;
- кут випередження;
- дозування палива;
- рециркуляція вихлопного газу;
- очищення паливного бака;
- швидкість холостого ходу.

Система оптимального керування двигуном може бути представлена стандартною трьохкаскадною моделлю, показаною на рис. 7.1, на якій показаний зворотний зв'язок замкнутого контуру керування, яка властива системам регулювання, що враховують такі фактори, як:

- лямбда-показник;
- детонація;

- частота обертання двигуна.

На рис. 7.2 показана блок-схема розширеної системи керування двигуном. Ряди «входів» і «виходів» допомагають добре представити всю складність системи.



Рисунок 7.1 - Стандартна функціональна схема контуру керування двигуном

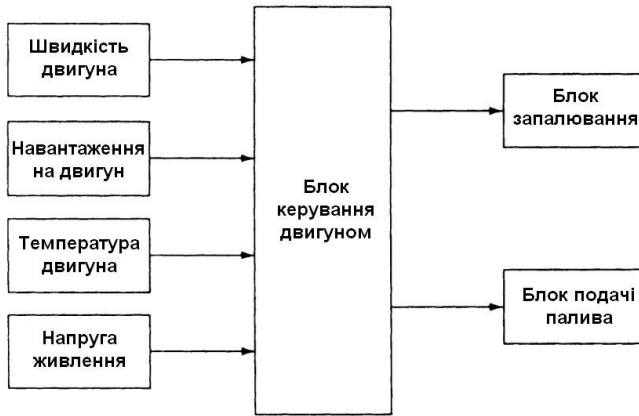
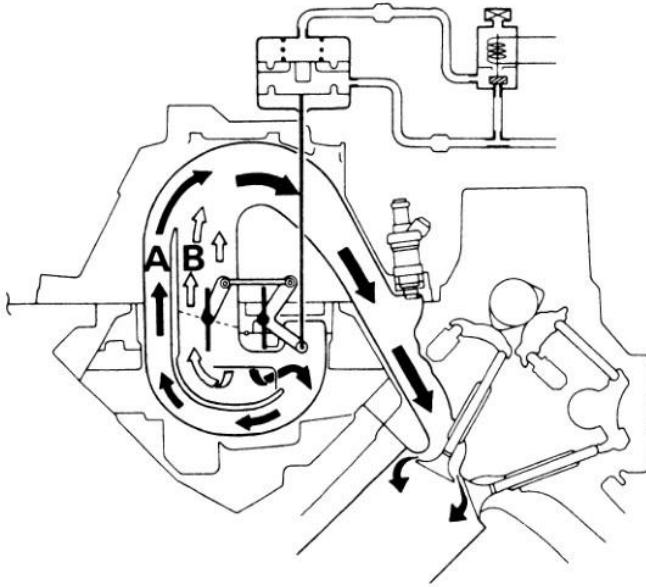


Рисунок 7.2 - Узагальнена блок-схема системи керування запалюванням і подачею палива

Змінюваний впускний тракт.

Досягнення максимальної ефективності роботи двигуна, неможливо на двигунах з постійними трактами. Довжина впускного тракту визначає швидкість всмоктуваного повітря й, зокрема, поширення хвиль тиску, викликуваних насосною дією циліндрів. Ці постійно виникаючі хвилі можна використовувати, щоб поліпшити швидкісний напір паливної суміші, коли вона входить у циліндр, але тільки в тому випадку, коли сили хвилі збігаються з відкриттям впускних клапанів.

Довжина впускного тракту впливає на частоту цих хвиль. Один з методів зміни довжини впускного тракту показаний на рис. 7.3. Рух керуючих клапанів змінює ефективну довжину впускного каналу.



А - довгий тракт; В - короткий тракт

Рисунок 7.3 - Впускний тракт колектора зі змінною довжиною

На рис. 7.4 на прикладі двигуна автомобіля Volvo S80 показано, наскільки дизайн впускного колектора визначає загальний вид двигуна.

Зміни в режимі роботи клапана.

При широко розповсюдженішому використанні двигунів зі здвоєними кулачками газорозподілу, де один кулачок застосовується для привода впускних клапанів і один для випускних, можна змінювати перекриття клапанів під час роботи двигуна. Компанія Honda розробила систему, яка помітно збільшує потужність і діапазон крутного моменту тільки за рахунок відкриття обох впускних клапанів на високій частоті обертання. Ця системи показана на рис. 7.5.

При низьких оборотах в двигуні VTEC-E повністю відкритий тільки один впускний клапан на кожному з циліндрів. Таким чином, 12 клапанів контролюють змішання і згоряння повітря й палива. Це забезпечує максимальну ефективність з точки зору найменшого рівня викидів. При більш високих оборотах гідравлічні штовхачі задіють

додаткові клапани, щоб забезпечити якість 16-клапанної роботи двигуна.



Рисунок 7.4 - Двигун автомобіля Volvo (зверніть увагу на особливості конструкції впускного колектора)

У системі компанії BMW (рис. 7.6), для керування положенням кулачка відносно приводного механізму використовується тиск масла. Положення кулачків визначається по відповідних установах карти постійної пам'яті в блоці керування.

Також відома система, яка не тільки дозволяє міняти вибір моменту відкриття клапана, але й період відкриття. Система відома як активне регулювання клапана (active valve train - AVT). Вона обіцяла дати подальший розвиток конструкції газорозподільного механізму з кулачками постійного профілю.

Розроблені ще більш ефективні версії цього методу. Відкриття впускних та випускних клапанів здійснюється гідравлічними приводами, що працюють при тиску до 200 Бар. Керування потоком масла до приводів клапанів здійснюється швидкодіючим сервоклапаном.

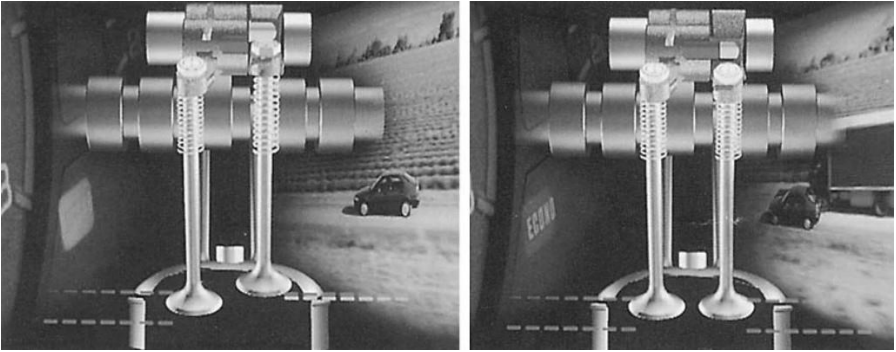


Рисунок 7.5 - Система керування клапанами в автомобілів Honda

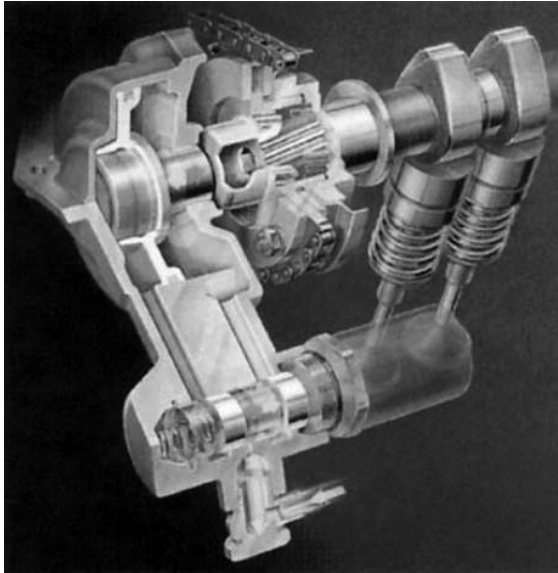


Рисунок 7.6 - Регулювання моменту відкриття клапанів у двигуні компанії BMW

Контроль факела згоряння й тиску.

Тривають дослідження зі створення ефективних по вартості датчиків для визначення якості факела й тиску в камері згоряння. Ці датчики використовуються поки лише в дослідницьких цілях, тому що в цей час вони надзвичайно дорогі для використання в серійному виробництві.

бництві. Коли вони стануть доступні, ці датчики забезпечать миттєвий зворотний зв'язок замкненого контуру керування процесом згоряння. Це буде особливо важливо для двигунів, що використовують збіднену суміш.

Лямбда-датчики широкого діапазону.

Більшість датчиків кисневого показника в замкненому контурі керування забезпечує оптимальний контроль відносини повітря-паливо і підтримують його близьким до стехіометричного відношення (14,7:1). Тепер існує датчик, здатний забезпечити лінійний вихід у діапазоні між значеннями відносини від 12:1 і до 24:1. Це дозволяє здійснити зворотний зв'язок у замкненому контурі керування в значно більш широкому діапазоні експлуатаційних режимів.

Інжектори з повітряним екрануванням.

Якщо в сопло інжектора ввести швидкий струмінь повітря, дисперсія палива значно поліпшується. Розмір крапель може бути зменшений до значень нижче 50 мкм у режимі холостого ходу. На рис. 7.7 показаний інжектор з повітряним екрануванням.

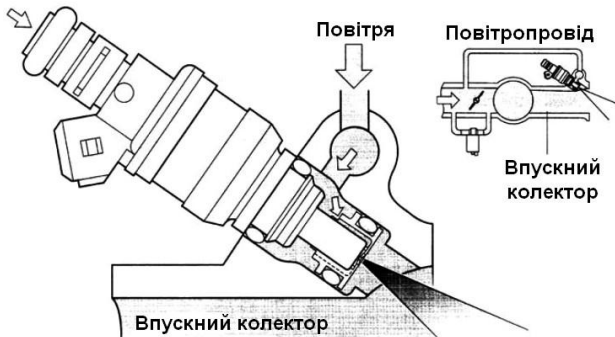


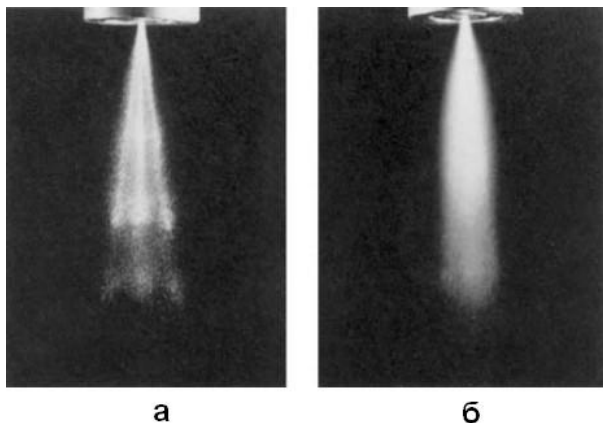
Рисунок 7.7 - Клапан інжектора з повітряним екрануванням

На рис. 7.8 на двох світлинах проілюстрований ефект повітряного екранування. На одній світлинці екранування немає, а на іншій показане впорскування з повітряним екрануванням. Візуально помітно поліпшення дисперсії й зменшення розміру крапель при екрануванні.

Бортова діагностика.

На рис. 7.9 показана система керування двигуном Motronic M5 (компанія Bosch) з бортовою діагностикою OBD-2. Бортова діагности-

ка (on - board diagnostics- OBD) стала дуже важливою частиною системи, що забезпечує тривалу експлуатацію автомобіля із чистим вихлопом.



а - інжектор без екранування;

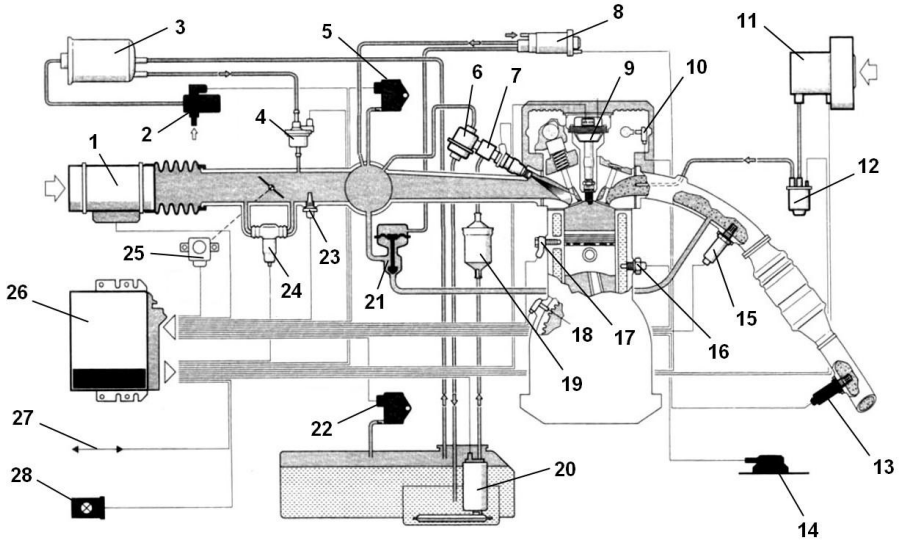
б - інжектор зі струменем екранованим повітрям

Рисунок 7.8 - Поліпшення дисперсії палива за рахунок застосування інжектора з повітряним екрануванням

Багато країн тепер вимагають всебічної діагностики всіх компонентів, що впливають на вихлоп. Індикатор попередить водія про будь-яку виявлену помилку. Система бортової діагностики OBD-2 покликана стандартизувати безліч різноманітних методів, використовуваних різними виготовлювачами. Можливо, у найближчому майбутньому відбудеться перехід до всеосяжної діагностики транспортного засобу через загальний інтерфейс.

Цифрова електроніка дозволяє контролювати й датчики, і приводи. Це досягається розміщенням у пам'яті настановних значень для всіх робочих станів датчиків і приводів. Якщо буде виявлене відхилення від цих значень, інформація зберігається в пам'яті блоку керування і може бути виведена в майстерні при пошуку несправності.

Дуже важливий контроль системи запалювання, оскільки осічки запалювання не тільки збільшують вихлоп вуглеводнів, але й дають можливість незгорілому паливу увійти в каталітичний конвертер і горіти там. Це може викликати перевищення нормальних температур роботи конвертера й ушкодити його.



- 1 - вимірник масової витрати повітря; 2 - ізоляційний клапан; 3 - сміст з активованим вугіллям; 4 - клапан випуску повітря з паливного баку; 5 - датчик тиску впускної труби; 6 - регулятор тиску палива; 7 - паливна форсунка; 8 - регулятор тиску; 9 - котушка запалювання; 10 - фазовий датчик; 11 - вторинний повітряний насос; 12 - вторинний повітряний клапан; 13, 15 - лямбда-датчик; 14 - датчик прискорення кузова автомобіля; 16 - датчик температури; 17 - датчик детонації; 18 - датчик обертів двигуна; 19 - паливний фільтр; 20 - електричний паливний насос; 21 - клапан рециркуляції; 22 - датчик перепаду тиску; 23 - датчик температури повітря; 24 - регулятор холостого ходу; 25 - потенціометр дросельної заслінки; 26 - блок керування двигуном; 27 - діагностичний інтерфейс; 28 - діагностична лампа

Рисунок 7.9 - Система Motronic M5 з бортовою діагностикою OBD-2

Щоб контролювати запалення й згоряння в циліндрах, використовується точний датчик швидкості обертання колінчатого вала. Осічка запалювання на мить змінює обертаючий момент колінчатого вала, що викликає його нерівномірне обертання. Це явище можна контролювати, що дозволяє миттєво виявляти пропуск запалювання.

Для реалізації функцій системи OBD-2 також потрібен ряд інших датчиків. Наприклад, ще один лямбда-датчик, розміщений після каталітичного конвертера, контролює функціонування ORD-2. Датчик

вхідного тиску повітря й клапан необхідні для керування фільтром з активованого деревного вугілля, щоб зменшувати й контролювати емісію випарів з паливного бака.

Датчик різницевого тиску також контролює проникність паливного бака. Потрібне значне ускладнення електроніки блоку керування, щоб управляти системою OBD додатково до виводу індикації про несправності для водія. Така повна контролююча система дозволяє одержати більший ефект у скороченні емісії транспортного засобу, ніж всілякі витончені інструкції щодо щорічного регулювання емісії.

Шкідливі викиди та конструкція двигуна.

Багато деталей конструкції двигуна істотно впливають на утвір викидів. Ясно, що фінальний проект двигуна майбутнього стане компромісом між суперечливими інтересами. Основні області цих інтересів обговорюються далі, в наступних розділах.

Конструкція камери згорання.

Головне джерело емісії вуглеводню - це незгоріле паливо, яке перебуває в контакті зі стінками камери згорання. Із цієї причини область стінок повинна мати як можна меншу поверхню й найпростішу форму. Теоретичний ідеал - сфера, але сфера не зовсім практична. Важливо гарне перемішування порції суміші в циліндрі, оскільки це сприяє більш якісному й швидкому горінню. Можливо, ще важливіше гарантовано гарне перемішування в області свічі запалювання. Це поліпшує запалення. Краще всього поміщати свічу запалювання в центр камери згорання, оскільки це зменшує ймовірність підривного згорання за рахунок скорочення відстані, яке повинен пройти фронт полум'я.

Ступінь стиску.

Чим вище ступінь стиску, тим вище теплова ефективність двигуна, і отже, краще якість його роботи й менші витрати палива. Існують дві головні перепони на шляху до більш високих ступенів стиску - збільшення емісії й тенденція до детонації. Проблема з емісією виникає через високу температуру, яка у свою чергу, викликає більш високий утвір окислів NO_x . Збільшення температури робить паливо-повітряну суміш більш схильною до самозаймання, а отже створює високий ризик підривного згорання. Країни, у яких протягом деякого часу діяли жорсткі інструкції регулювання емісії, наприклад США і Японія, прагнули розвивати двигуни з більш низькими ступенями стиску. Однак завдяки змінам у конструкції камери згорання й більш широкému поширенню циліндрів із чотирма клапанами вкупі з розвитком

систем електронного керування та іншими методами зниження рівня емісії, ступінь стиску за минулі роки зросла.

Вибір моменту й тривалості відкриття клапана.

Вплив моменту спрацьовування клапана на склад вихлопу може бути досить значним. Один з головних факторів - тривалість перекриття клапанів. Це час, протягом якого впускний клапан вже відкритий, але випускний клапан ще не закритий. Тривалість цієї фази визначає кількість вихлопного газу, що залишається в циліндрі, коли випускний клапан нарешті закривається. Цей газ істотно впливає на температуру реакції (більше вихлопного газу - нижче температура) і, отже, на емісію NO_x . Головне протиріччя тут у тому, що на більш високих швидкостях збільшення фази впуску збільшує розвивану потужність. З іншої сторони, це викликає більше перекриття клапанів і на холостому ходу, що може значно збільшувати емісію вуглеводнів. Це протиріччя призвело до введення електронних систем управління моментом і тривалістю відкриття клапанів.

Конструкції колекторів.

Газовий потік у зоні вхідних і випускних колекторів - дуже складний для вивчення об'єкт. Головна причина цієї складності - зміни характеристик потоку, обумовлені не тільки змінами у швидкості двигуна, але також дією циліндрів як насосів. Це насосна дія циліндрів викликає коливання тиску в колекторах. Якщо колектори й системи впуску й випуску розроблені так щоб у відповідний момент часу відбити назад хвилю тиску, можна поліпшити об'ємну ефективність роботи колекторів. Багато двигунів транспортних засобів тепер оснащені трактами впуску регульованої довжини. Довгі тракти використовуються при низьких швидкостях обертання, а вкорочені - при високих.

Розширення дози палива.

Якщо порція паливної суміші може бути введена в циліндр таким способом, щоб більш багата суміш перебувала поблизу свічі запалювання, то в середньому по циліндру суміш може бути набагато більш бідною. Ця ідея може забезпечити більші переваги у витраті палива, але емісія окислів NO_x всі ще може залишатися проблемою. Багато двигунів збідненого згоряння використовують той або інший спосіб розширення палива, щоб зменшити можливість осічки запалювання й нерівної роботи двигуна.

Час прогріву.

Основні викиди, створювані середнім автомобілем, виникають у

процесі прогріву двигуна. Застосування підходящих матеріалів і ретельна пророблення системи охолодження можуть зменшити цю проблему. Деякі системи керування навіть змушують двигун на час прогріву працювати при злегка затриманому запалюванні, щоб він швидше прогрівся.

Рециркуляція вихлопного газу.

Ця методика використовується, насамперед, для того, щоб зменшити пікові температури згоряння й, отже, утвір окислу азоту (NO_x). Рециркуляція вихлопного газу (exhaust gas recirculation - EGR) може бути або внутрішньою, за рахунок перекриття клапанів, або зовнішньою, через звичайні труби й клапан (рис. 7.10). Певна порція вихлопного газу просто вертається до впускного колектора двигуна.

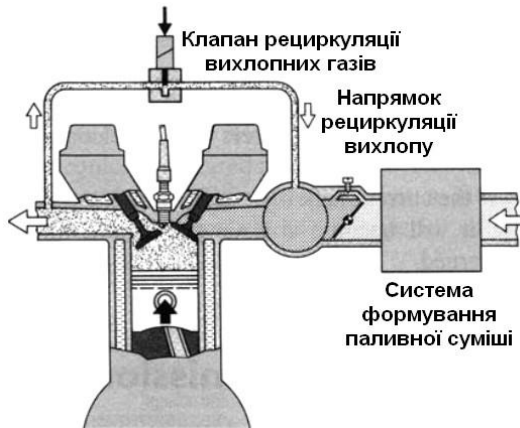


Рисунок 7.10 - Система рециркуляції вихлопного газу

Рециркуляцією управляють за допомогою електроніки по установкам і постійній пам'яті блоку керування двигуном. Це гарантує, що не будуть порушені ходові якості автомобіля, а також, що частка рециркуляції буде контролюватися. Якщо ця частка занадто велика, збільшується емісія вуглеводнів.

На рис. 7.11 показаний вплив частки рециркуляції на вихлоп і витрати палива. Один з недоліків систем EGR полягає в тому, що клапани через деякий період часу можуть забиватися продуктами вихлопу й. таким чином, змінювати фактичний відсоток рециркуляції. Однак тепер вже є клапани, які зменшують цю проблему.

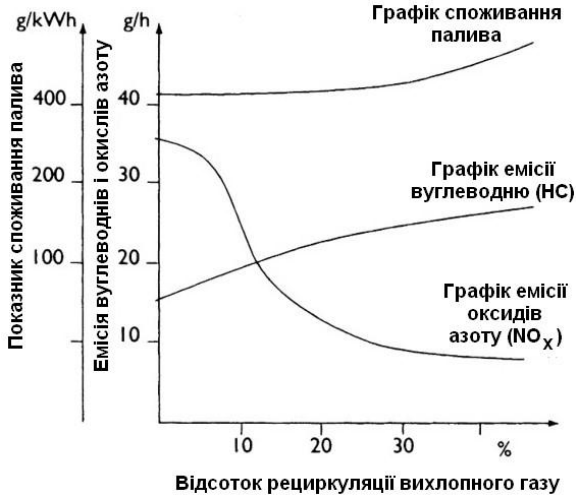


Рисунок 7.11 - Вплив частки рециркуляції на склад вихлопу й витрати палива

Система запалювання.

Система запалювання може впливати на вихлопну емісію двома способами: по-перше, за рахунок якості створеної іскри, і по-друге, вибором моменту утворення іскри. Якість іскри буде визначати її здатність запалити суміш. Тривалість іскри, зокрема, істотна при запаленні більш бідних сумішей. Більш сильна іскра зменшує ймовірність осічок, які можуть призвести до збільшення викиду вуглеводнів.

Зрозуміло, що вибір моменту запалювання є критичним фактором, і як завжди цей вибір є компромісом між потужністю, ходовими якостями автомобіля, витратою палива й емісією. На рис. 7.12 наведений графік, що показує вплив вибору моменту запалювання на емісію й витрати палива. Утвір вигарного газу залежить практично тільки від складу паливної суміші й лише незначно від вибору моменту запалювання. Електронні й програмні системи запалювання внесли істотний вклад на шляху до досягнення рівнів емісії сьогоденних двигунів.

Термічне допалювання палива.

Щоб зменшити частку вуглеводнів у вихлопі, задовго до широкого поширення каталітичних конвертерів використовувалося термічне допалювання палива.

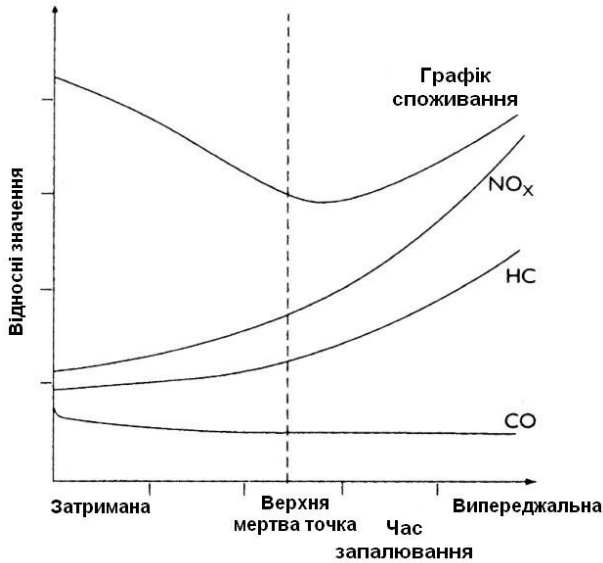


Рисунок 7.12 - Вплив часу запалювання на емісію викидів й споживання палива

Вуглеводні дійсно продовжують горіти у випускному колекторі, а проведені дослідження показали, що вибір матеріалу використовуваного колектора, наприклад чавуну або нержавіючої сталі, може мати значимий вплив на скорочення викидів HC. При температурах приблизно 600°C, HC і CO згоряють або окисляються в H_2O і CO_2 . Якщо вводити повітря, у випускний колектор після клапанів, то можна стимулювати процес допалювання палива.

Каталітичні конвертери.

Строгі вимоги по регулюванню викидів у більшості країн світу зробили використання каталітичного конвертера майже обов'язковим. Каталізатор із трьома реакціями (three-way catalyst - TWC) з величезним ефектом використовується більшістю автовиробників. Це дуже простий пристрій, і виглядає він подібно стандартній коробці вихлопного фільтра. Однак для того, щоб конвертер працював правильно, робоча суміш у двигуні повинна бути дуже близькою до стехіометричного відношення. Необхідно гарантувати доступність для каталізатора правильних «інгредієнтів», щоб він виконав свою функцію.

На рис. 7.13 показана внутрішня частина каталітичного конвертера. Існує багато видів вуглеводнів, але наступний приклад ілюструє головну реакцію. Слід сказати, що реакції передбачається здійснювати за участю деякої кількості CO, виробленого двигуном, щоб зменшити NO_x . У цьому одна із причин того, що виготовлювачі були повинні змушувати двигуни працювати на стехіометричній суміші. Ця ж обставина стримує розвиток методів збідненого горіння. Таким чином, навіть дрібні деталі інструкцій з регулювання емісії можуть у дійсності мати дуже серйозний вплив на вибір використовуваних методів скорочення емісії.

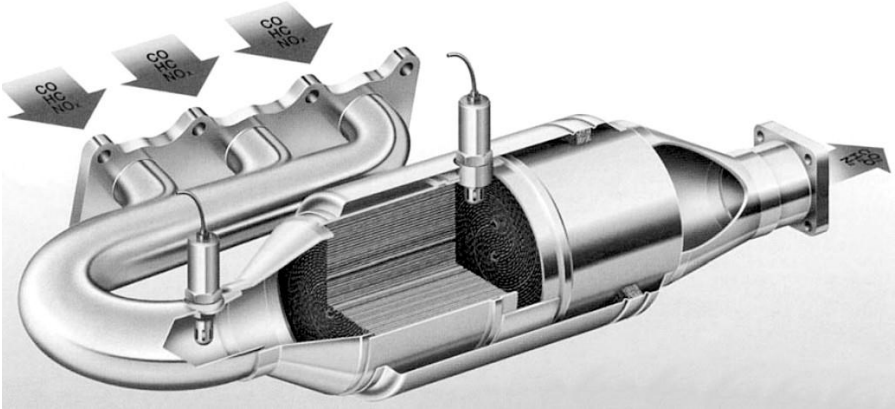


Рисунок 7.13 - Каталітичний конвертер (нейтралізатор)

Герметична система каталітичного конвертера включає в себе труби випускного колектора, лямбда-датчик і OBD II-датчик діагностичної системи. Основний каталітичний перетворювач розроблений як сучасний двошаровий перетворювач з центральною частиною, що має повітряний зазор. Положення каталітичного перетворювача поблизу двигуна забезпечує швидкий час реакції у фазі холодного пуску. Сформована конструкція колектора зменшує загальну вагу транспортного засобу, а також сприяє нижчій тепловій масі каталітичного перетворювача, що відключається. Таким чином, ця інноваційна система вже відповідає майбутнім значенням викидів вихлопних газів.

Керамічна монолітна основа, використовувана як матеріал каталізатора, є алюмо-магнієвим силікатом і завдяки багатьом тисячам дрібних каналів забезпечує більшу площу поверхні. Ця поверхня пок-

рита найтоншою плівкою окису алюмінію, який додатково збільшує ефективну поверхню приблизно у 7 000 разів.

Для каталізаторів використовуються благородні метали. Платина сприяє окисненню HC і CO , а родій допомагає скороченню NO_x . Представлений конвертер - це сучасна конструкція з металевою основою й вбудованим колектором. Тільки один такий каталітичний конвертер, що підтримує три згадані реакції, містить приблизно 3-4 г дорогоцінних металів.

Ідеальний діапазон робочих температур конвертера - від 400 до 800°C. Дуже часта серйозна проблема - це затримка досягнення каталізатором цієї температури з моменту початку роботи двигуна. Вона відома як «час вибігу каталізатора». Використовуються різні методи, що зменшують цей час, оскільки поки каталізатор не нагріється, іде викид шкідливих продуктів згоряння. Можливі рішення - електричний підігрів або пальник, який вводить у конвертер легке паливо. Інша можливість - розміщення конвертера між випускним колектором і трубопроводом глушника. Це значно зменшує «час вибігу», але газовий потік, вібрація й надмірні перепади температури можуть зменшити термін служби каталізатора.

Каталітичним конвертерам загрожують два типи ушкоджень. Перший - використання етильованого палива, яке призводить до відкладання складових свинцю на активних поверхнях і таким чином, зменшує ефективну поверхню каталізатора. Другий - внаслідок осічок запалювання незгоріле в циліндрах паливо буде догоряти в каталізаторі й викличе його перегрів. Компанія BMW, наприклад, використовує на деяких транспортних засобах систему, де датчик контролює високовольний вихід системи запалювання, і якщо не утворюється іскра, система надалі не подає паливо у «збійний» циліндр.

Ще одне можливе технічне рішення для зниження емісії в період розігріву каталізатора полягає у використанні попереднього конвертера, який електрично нагрівається, малого розміру, як показано на рис. 7.14. Перші випробування цієї системи показують, що емісія вуглеводнів протягом фази розігріву може бути значно зменшена.

Невирішена поки проблема полягає в тому, що для нагрівання попереднього конвертера протягом перших 30 с необхідно мати приблизно 30 кВт теплової потужності. Це вимагає струм порядку 250 А. Одним з рішень проблеми може бути установка додаткової батареї.



Рисунок 7.14 - Попередній конвертер з електричним підігрівом

Для каталітичного конвертера, здатного з оптимальною швидкістю окислити CO і HC при одночасному скороченні окислів NO_x , дуже важливий стан суміші в межах вузької смуги в 0,5 % від лямбда-значення 1. Використовувані в цей час кисневі датчики можуть забезпечити точність в межах приблизно 3 % від вказаного значення лямбда-показника. Коли каталітичний конвертер перебуває в гарному стані, це не створює проблеми завдяки накопичувальній здатності конвертера у відношенні CO і O_2 .

Ушкоджені конвертери, однак, не можуть зберігати достатню кількість цих газів і, отже, стають менш ефективними. Ушкодження конвертера, як вже було сказано раніше, може відбутися із-за перегріву або через «отруєння» свинцем або навіть кремнієм. Якщо склад паливної суміші може підтримуватися в межах 0,5 % від стехіометричного лямбда-показника, конвертер залишиться ефективним, навіть якщо він до деякого ступеня ушкоджений. Зараз стали доступними датчики, які можуть забезпечити необхідну точність. Щоб гарантувати ідеальну роботу конвертера, можна використовувати другий датчик, встановлений вже після конвертера.

Лямбда-контроль у замкненому контурі керування.

Діючі інструкції регулювання викидів зробили вже обов'язковим замкнений контур керування складом паливно-повітряної суміші в комбінації з каталітичним конвертером. У той же час незважаючи на жваві дискусії, інженери не дійшли згоди про те, що лямбда-показник повинен обов'язково дорівнювати одиниці для всіх експлуатаційних режимів. Отже, лямбда-контроль - це система, із замкненим контуром керування, яка діє так, щоб сигнал від кисневого датчика у вихлопі міг безпосередньо впливати на кількість палива, що

вводиться. На рис. 7.15 показана блок-схема системи керування по лямбда-показнику. Результати керування по λ -показнику та дія каталізатора наведені на рис. 7.16.

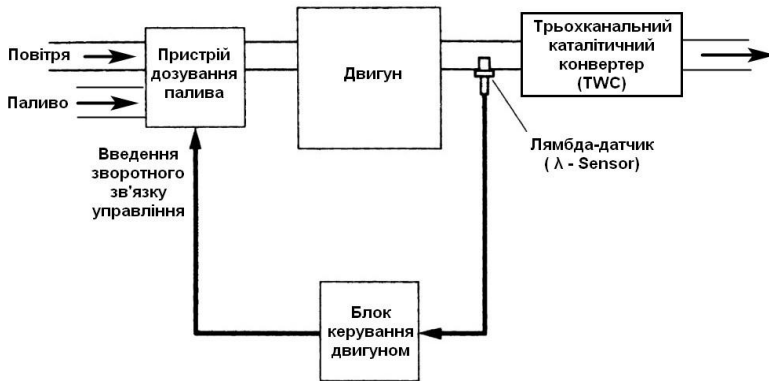


Рисунок 7.15 - Дозування палива в замкненому контурі керування

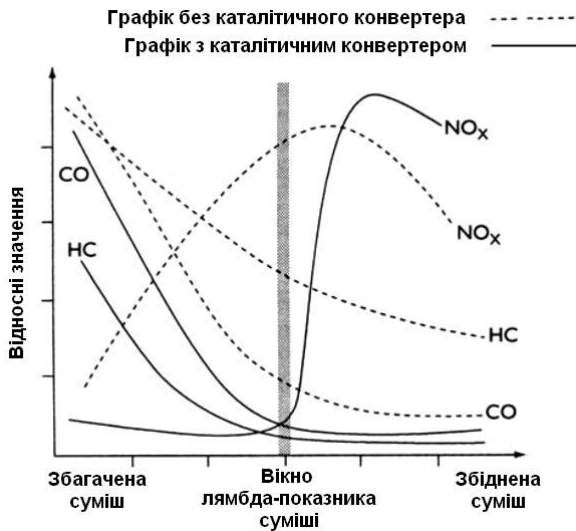


Рисунок 7.16 - Результати керування по λ -показнику та дія конвертера TWC

Принцип дії системи наступний: λ -датчик генерує напругу, пропорційну вмісту кисню у вихлопі, вміст кисню, у свою чергу, пропор-

ційний відношенню «повітря-паливо». При ідеальному регулюванні ця напруга становить приблизно 450 мВ. Якщо напруга, отримана ECU, нижче цього значення (бідна суміш), кількість введенного палива потроху збільшується. Якщо напруга сигналу вище порогу (багата суміш), кількість палива зменшується.

Ця зміна в повітряно-паливному відношенні не повинна бути занадто різкою, оскільки це змусить двигун «смикатися». Щоб запобігти цьому явищу, блок керування двигуном містить інтегратор, який змінює склад суміші протягом певного часу.

Існує також затримка між формуванням суміші в колекторі й виміром вмісту кисню у вихлопному газі. Це обумовлено робочим циклом двигуна й швидкістю суміші на впуску, часом, необхідним вихлопним газам, щоб досягти датчика, і часом реакції датчика.

Цю затримку іноді називають «мертвим часом», і вона може досягати однієї секунди на швидкості холостого ходу й декількох сотень мілісекунд на більш високих швидкостях двигуна. Через «мертвий час», суміш неможливо привести до точного значення $\lambda=1$. Якщо в системі встановлений інтегратор, який може враховувати швидкість двигуна, тоді вдається втримувати значення λ суміші в діапазоні 0,97-1,03, тобто в межах, у яких TWC найбільш ефективний.

Контроль вихлопу дизеля.

Викиди дизельних двигунів були в значній мірі знижені завдяки змінам конструкції камери згоряння й методів впорскування. Подальші вдосконалення дозволили зробити більш точним керування початком і періодом впорскування. Істотний внесок також вніс метод електронного керування. Щоб керувати емісією викидів, можна використовувати ще ряд методів.

Рециркуляція вихлопного газу.

Як і у випадку бензинових двигунів, рециркуляція вихлопного газу (EGR) використовується, насамперед, для того, щоб зменшити викид окислів NO_x за рахунок зменшення температури реакції у камері згоряння. Однак якщо відсоток рециркуляції стане занадто високим, зросте утвір вуглеводнів і сажі.

Температура усмоктуваного повітря.

Це рішення може застосовуватися у двигунах з турбонаддувом. Якщо повітря пропускається через проміжний теплообмінник і передбачений вимір обсягу цього повітря, то зниження його температури зменшить емісію NO_x . Проміжний теплообмінник встановлюється у

тій самій зоні автомобіля, що й радіатор системи охолодження.

Каталітичний конвертер.

На дизельному двигуні каталізатор може використовуватися щоб зменшити емісію вуглеводнів, але він вплине на утвор окисненого азоту. Це відбувається тому, що дизельні двигуни завжди працюють з надлишком повітря, щоб гарантувати краще й більш ефективне горіння палива. Тому звичайний каталізатор не відніме кисень від NO_x , щоб окислити вуглеводні, а замість цього ще буде використаний додатковий кисень. Тому розроблені спеціальні конвертери для NO_x .

Фільтри.

Щоб зменшити емісію мікрочастинок (сажі), можуть бути використані фільтри. Вони можуть варіюватися по конструкції від найтоншої сітки, зробленої з керамічного матеріалу, до відцентрових фільтрів і водяних пасток. Не вирішена поки проблема полягає в тому, що фільтри можуть забиватися, що несприятливо впливає на роботу в цілому. Тут використовується ряд технічних прийомів, включаючи відцентрові фільтри.

Системи комплексного керування автомобілем.

Можливість створення системи комплексного керування транспортним засобом з'явилася після розробки систем цифрового контролю. На рис. 7.17 показана схема комплексної системи керувань автомобілем. В принципі, вона вимагає використання всього одного блоку керування, здатного контролювати всі параметри транспортного засобу. На рис. 7.18 показаний один з варіантів з'єднання між собою декількох блоків керування. Однак у дійсності, використовують кілька окремих контролерів (ECU), здатних спілкуватися один з одним через шину даних (CAN).

Переваги централізованого керування.

Переваги централізованого керування можна розділити на дві групи - «входи» і «виходи». Розглянемо всі вихідні величини, необхідні для керування в кожній з нижченаведених областей:

- система запалювання;
- система подачі палива;
- система трансмісії.

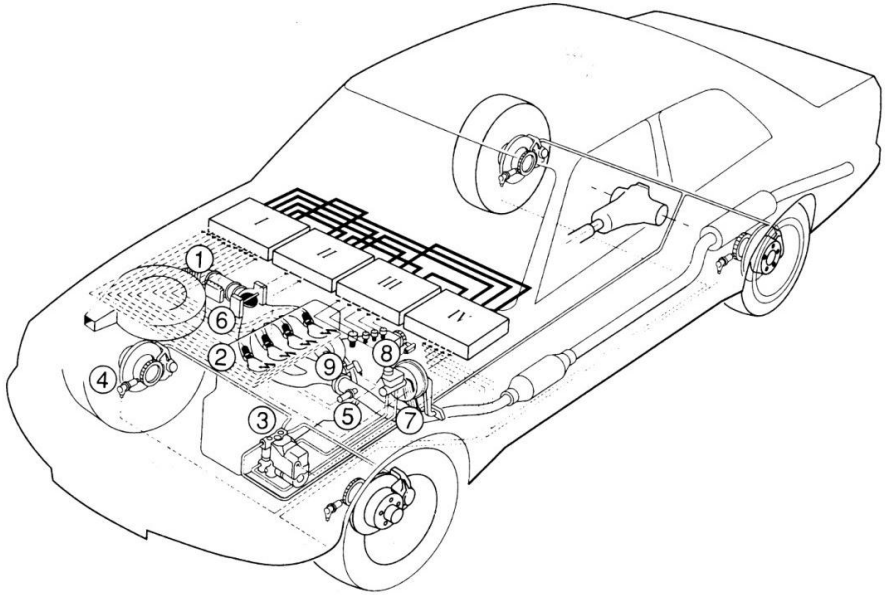
Для зазначених трьох систем керування автомобілем є багато загальних вимог. Наявність однієї централізованої системи керування може потенційно зменшити складність кабельної мережі при одночасному розширенні можливостей контролю.



Рисунок 7.17 - Блок-схема комплексної системи керування автомобілем

Це, фактично, переваги «виходів». Розглянемо загальні умови експлуатації транспортного засобу під час раптового й різкого прискорення й можливі «відповіді» кожної з перерахованих систем. Якби кожна система працювала сама по собі, можливо, що вона не зреагувала б певним чином з урахуванням роботи інших систем.

Наприклад, можуть бути встановлені момент часу запалювання й величина порції палива, але потім ECU трансмісії різко понизив передачу, збільшуючи, таким чином, оберти двигуна. Це у свою чергу, вимагає змін у дозуванні палива й виборі моменту запалювання. Протягом перехідного процесу цілком ймовірно зменшення ефективності роботи й збільшення емісії.



- I - блок керування «Мотронік»; II - електронне управління дросельним клапаном; III - електронне керування трансмісією;
 IV - блок керування системою АБС и тягою;
 1 - вимірники масової витрати повітря; 2 - впорскування та запалення;
 3 - гідравлічний модулятор системи АБС; 4 - датчик швидкості коліс для системи АБС; 5 - лямбда-датчик; 6 - привод дросельної заслінки;
 7 - датчик педалі газу; 8 - датчик швидкості, регулятор тиску, приводи клапанів; 9 - датчик швидкості обертання двигуна

Рисунок 7.18 - Зв'язки між блоками керування

Таким чином, ідеальне керування можливе лише при єдиному блоці керування або, по крайній мірі, при наявності зв'язку між окремими блоками. Програмування такого керування вимагає, однак, дуже значної потужності обчислювальних модулів. Це стає особливо очевидним, якщо враховувати інші системи керування, наприклад, зчепленням, антиблокуванням гальм, активною підвіскою, кермом.

Система Cartronic компанії Bosch.

Складність об'єднання систем постійно збільшується. Компанія Bosch розробила систему, що використовує ієрархію електронних засобів транспорту. Удосконалення як роботи двигуна, рівня емісії, без-

пеки водія й комфорту, вимагають більшої взаємодії різних електронних систем. Раніше на простому прикладі ми вже продемонстрували потребу в окремих електронних системах, здатних спілкуватися один з одним.

Проект компанії Bosch використовує ієрархічну структуру сигналу, щоб вирішити цю проблему. На рис. 7.19 показано два способи, якими можуть бути зв'язані системи. Перший використовує звичне кабельне розведення, другий - шину CAN.

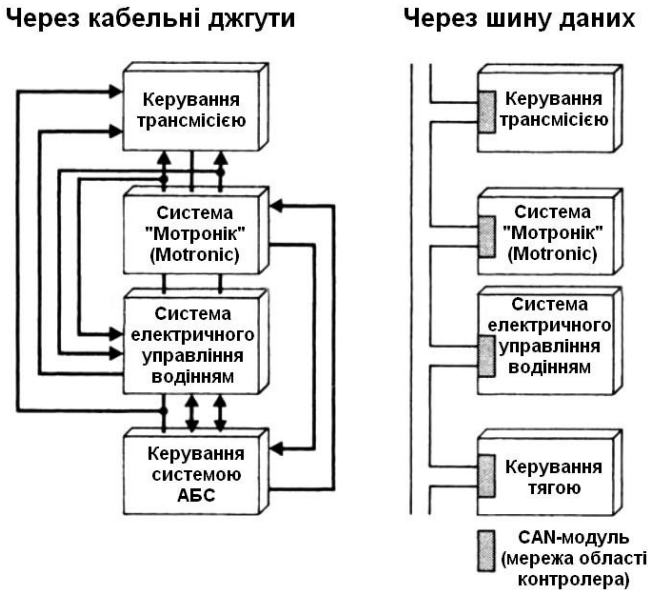


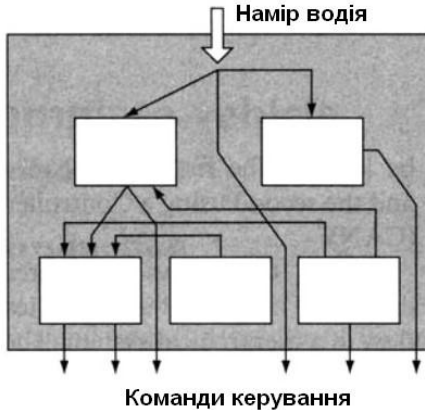
Рисунок 7.19 - Типи зв'язку систем автомобіля

На рис. 7.20 показана відмінність між потоком даних в автономній системі й потоком даних в ієрархічній системі. Система Cartronic використовує принцип, при якому кожна система може керуватися від системи, що займає в ієрархії керування більш високий рівень. Наприклад, інтегровані системи керування двигуном і керування коробкою передач не «спілкуються» безпосередньо між собою, а тільки через систему керування трансмісією яка стоїть вище по ієрархії.

Виробники транспортних засобів продовжують вести дослідження в області комплексних систем керування.

Функції розподілу і поєднання

Потік даних між
окремими системами



Потік даних в
ієрархічній системі

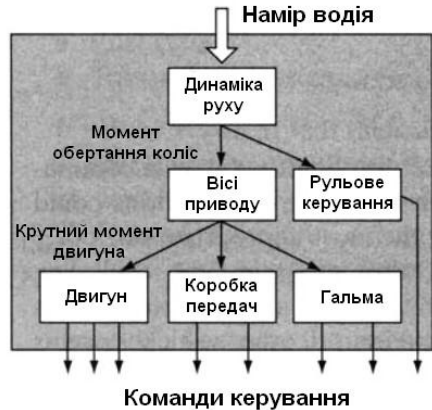


Рисунок 7.20 - Система Cartronic

Все більше й більше систем інтегрується між собою, що призводить до зниження вартості електронного устаткування автомобіля. Одночасно ростуть вимоги до обчислювальної потужності систем, вже є нормою застосування 32-розрядних і скоро стане стандартом застосування 64-розрядних швидкодіючих мікроконтролерів.

Зворотна сторона використання єдиного блоку керування для керування всім транспортним засобом - це вартість заміни блоку керування. При існуючих цінах навіть ECU єдиної системи може недешево коштувати, хоча, в середньому, вартість виготовлення всього транспортного засобу може зменшитися.

Комплексний централізований контроль дає й інші можливі переваги, наприклад розширення бортової діагностики (OBD) для контролю над транспортним засобом у цілому, що потенційно заощаджує час ремонту й експлуатаційний витрати.

Система GDI (Mitsubishi).

Протягом багатьох років компанія Mitsubishi Motors прагнула підвищити ефективність своїх двигунів не тільки з метою задовольнити зростаючі вимоги з боку екології, щоб обмежити негативну дію парникового ефекту, а й значно зменшити витрати палива. Тому Mitsubishi приклала істотні зусилля саме до розвитку двигуна із пря-

ним впорскуванням бензину. Протягом багатьох років інженери вважали, що цей тип двигуна має найбільший потенціал для оптимізації подачі палива й згоряння що, у свою чергу, може забезпечити кращу якість роботи й знизити витрати палива. Однак дотепер так ніхто і не спроектував довершений двигун із прямим впорскуванням палива в циліндр (Gasoline Direct Injection - GDI), придатний для масового виробництва.

Розроблений у компанії Mitsubishi двигун типу GDI (удосконаленого прямого впорскування бензину) - це реалізація мрії інженера.

Для подачі палива звичайні двигуни використовують систему впорскування палива, яка замінила систему карбюрації. Система MPI, або система багатоточкового впорскування, де паливо підводиться до кожного пристрою введення, в даний час є однією з найбільш широко використовуваних систем.

Однак навіть у двигунах MPI є обмеження на умови подачі палива й керування згорянням, тому що паливо змішується з повітрям перед введенням в циліндр. Mitsubishi прагнула розсунути ці межі, розробляючи двигун, де бензин вводиться безпосередньо в циліндр, аналогічно дизельному двигуну, і, крім того, моментом впорскування управляють у точній відповідності за умовами навантаження.

Двигун GDI досяг наступних видатних показників:

- надзвичайно точний контроль порції палива, у результаті згоряння ультрабідних сумішей паливна, ефективність перевищує ефективність дизельних двигунів;
- дуже ефективне впорскування й унікально висока ступінь стиску забезпечують даному двигуну GDI високу ефективність і відмінну приємність, які перевершують такі показники для звичайних двигунів MPI.

На рис. 7.21 показаний розвиток двигунів на шляху до більш високої потужності й ефективності. Технологія, реалізована Mitsubishi для двигуна GDI, є наріжним каменем для наступного покоління високоефективних двигунів. Очевидно, ця технологія буде розвиватися й далі. На рис. 7.22 показаний розвиток системи подачі палива. На рис. 7.23 показаний зовнішній вигляд двигуна із прямим впорскуванням бензину.

Головні цілі двигуна GDI.

Розробка двигуна GDI дозволяє вирішити наступні основні завдання:

- добитися ультранизької витрати палива, кращої, ніж в будь-якого дизельного двигуна;
- забезпечити потужність, що перевершує потужність звичайних двигунів MPI.

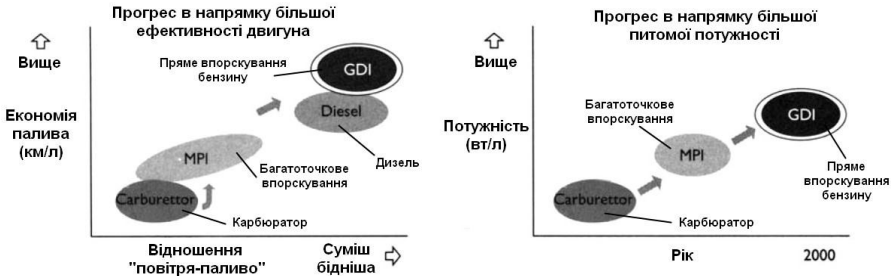


Рисунок 7.21 - Прогрес двигунів на шляху до більш високої потужності й ефективності

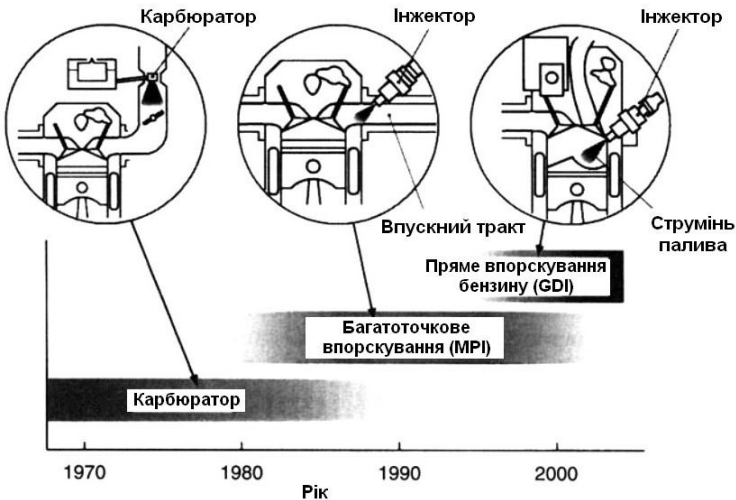


Рисунок 7.22 - Розвиток систем подачі палива

Технічні особливості двигуна GDI:

- строго вертикальні канали введення для оптимального керування потоком повітря в циліндрі;
- поршні із круглою вибіркою у верхній частині для кращого згоряння палива;

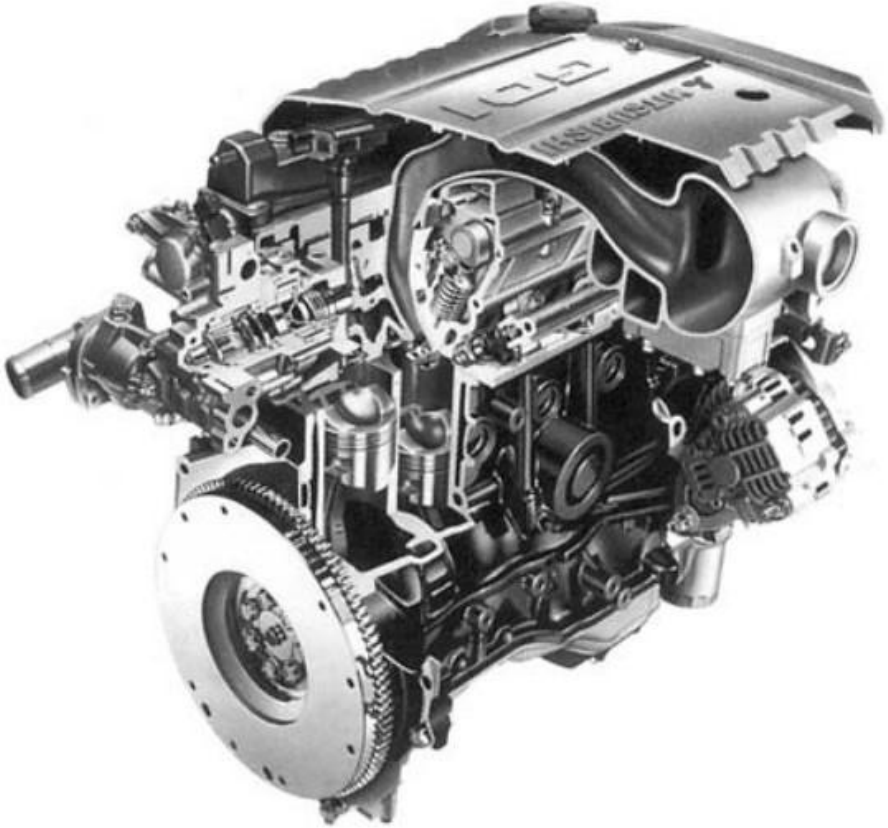


Рисунок 7.23 - Двигун GDI від Mitsubishi

- паливний насос високого тиску для подачі палива в інжектори під тиском;
- вихрові інжектори високого тиску для створення оптимальної повітряно-паливної суміші.

Знижена витрата палива й підвищена потужність.

Використовуючи власні унікальні методи й технології, Mitsubishi змогла добитися того, що двигун GDI забезпечує й меншу витрату палива, і більш високу вихідну потужність. Цей зовні суперечливий і важкий трюк реалізовано шляхом застосуванням двох режимів згоряння. Крім того, момент впорскування міняється, щоб відповідати навантаженню двигуна.

Для умов навантаження автомобіля при типовому міському русі, паливо впорскується в кінці такту стиску, аналогічно дизельному двигуну. Завдяки цьому досягається ультрабідне згоряння за рахунок ідеального формування розширеної повітряно-паливної суміші. В ідеальних умовах руху паливо вводиться на такті впуску. Це гарантує гомогенну повітряно-паливну суміш, подібну суміші звичайних двигунів MPI, що забезпечує більш високу вихідну потужність.

Режим ультрабідного згоряння.

При нормальних умовах руху, до швидкості 120 км/год, двигун GDI Mitsubishi працює в режимі ультрабідного згоряння, що призводить до найменшої витрати палива. У цьому режимі впорскування відбувається на останній стадії такту стиску, і в циліндрі згоряє ультрабідна суміш із відношенням «повітря-паливо» 30-40 (включаючи EGR 35-55).

Режим підвищеної вихідної потужності.

Коли двигун GDI працює з більш високим навантаженням або на більш високих оборотах, має місце впорскування палива під час такту впуску. Це оптимізує згоряння завдяки гомогенній і більш холодній повітряно-паливній суміші, яка мінімізує можливість детонації.

Ці два режими роботи двигуна представлені на рис. 7.24.

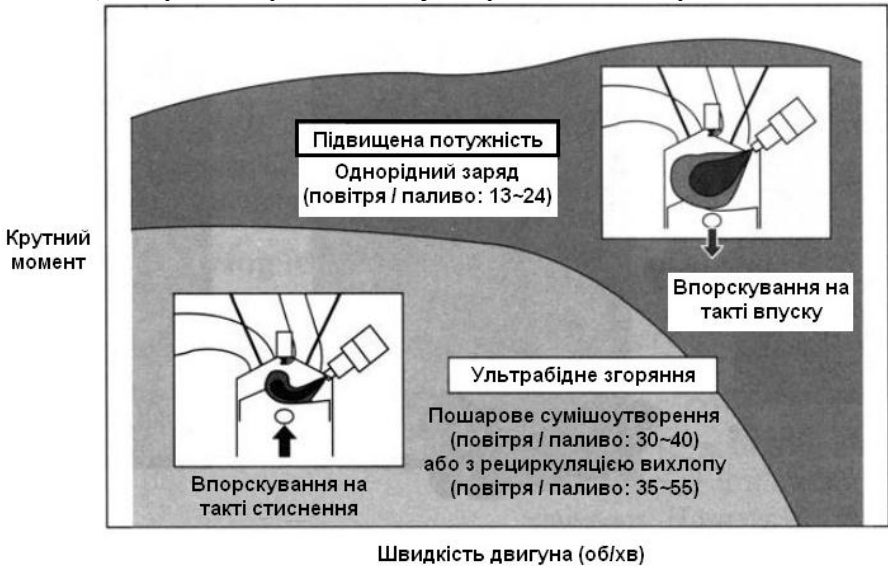


Рисунок 7.24 - Два режими згоряння палива

Фундаментальні технології двигуна GDI.

В основі конструкції двигуна GDI є чотири технічні особливості. «Вертикальний прямий канал введення» поставляє оптимальний потік повітря в циліндр. «Поршень із криволінійною вершиною» управляє згорянням, допомагаючи формувати повітряно-паливну суміш. «Паливний насос високого тиску» забезпечує тиск, не обхідний для прямого впорскування в циліндр. Крім того, «вихровий інжектор високого тиску» управляє випаром і дисперсією паливного струменя.

Ці фундаментальні технології, об'єднані з іншими унікальними технологіями керування подачею палива, дозволили компанії Mitsubishi досягти обидві цілі: зробити витрати палива у двигуна GDI нижчими, ніж у дизельних двигунів, а вихідну потужність вищою, ніж потужність звичайних двигунів MPI.

Струмінь повітря усередині циліндра.

Двигун GDI має вертикальні прямі канали впуску суміші, а не горизонтальні, використовувані у звичайних двигунах. Вертикальні прямі канали ефективно направляють потік, повітря вниз на поршень із криволінійною поверхнею верхньої частини, яка сильно змінює напрямок струменя, утворюючи зворотний вихор для оптимального перемішування впорскнутого палива як показано на рис. 7.25.



Рисунок 7.25 - Канали вертикального впуску

Струмінь палива.

Розроблені вихрові інжектори високого тиску забезпечують ідеальний струмінь зі структурою, що відповідає кожному з режимів ек-

плуатації двигуна. Це показано на рис. 7.26.



Рисунок 7.26 - Вихрові потоки

У той самий час, завдяки сильно турбулентному руху паливного струменя, інжектори забезпечують достатній ступінь розпилення палива, що є обов'язковим для двигуна типу GDI навіть із відносно низьким паливним тиском 50 кг/см^3 .

Оптимізована конфігурація камери згоряння.



Рисунок 7.27 - Оптимальна форма вершини поршня

Поршень із криволінійним вилученням на вершині управляє формою повітряно-паливної суміші, так само як і струмінь повітря в камері згоряння, що відіграє важливу роль в утворі компактної повітряно-паливної суміші. Суміш, яка вводиться на останній стадії такту стиску, направляється до свічі запалення перш, ніж вона зможе розсіятися.

Щоб визначати оптимальну форму вершини поршня, таку, як зображено на рис. 7.27, компанія Mitsubishi використала передові методи спостереження процесів у циліндрі, включаючи лазерні методи.

Питання для самоперевірки

1. У чому саме полягає об'єднане керування запаленням і подачею палива двигуна внутрішнього згорання?
2. З якою метою змінюють довжину впускного тракту двигуна?
3. Як можна змінювати перекриття клапанів під час роботи двигуна?
4. За допомогою чого можна здійснити зворотний зв'язок у замкненому контурі керування?
5. Поясніть ефект повітряного екранування паливних інжекторів.
6. Для чого призначена бортова діагностика (on - board diagnostics - OBD)?
7. Як пов'язана кількість шкідливих викидів автомобіля із конструкцією двигуна внутрішнього згорання?
8. Що таке тривалість перекриття клапанів і як вона впливає на склад вихлопу?
9. Для чого роблять рециркуляцію вихлопного газу?
10. В чому полягає суть термічного допалювання палива?
11. З чого складається каталітичний нейтралізатор вихлопних газів?
12. Намалюйте принципову схему регулювання викидів двигуна по λ -показнику і поясніть принцип її роботи.
13. Як зменшують температуру усмоктуваного повітря у двигунах з турбонаддувом?
14. Які технічні рішення використовують щодо зменшення забивання сажових фільтрів?
15. В чому полягає суть системи комплексного керування автомобілем?
16. Які були головні цілі при розробці двигуна GDI (Mitsubishi)?
17. Назвіть основні технічні особливості двигуна GDI.
18. Для чого канали впуску суміші у двигуні GDI зроблені вертикальними?
19. З якою метою поршень у двигуні GDI зроблений із криволінійним вилученням на вершині?
20. Як відбувається згорання ультра-збідненої суміші у двигуні GDI?
21. За рахунок чого у двигуні GDI мінімізована можливість детонації?
22. Намалюйте блок-схема керування системою запалювання двигуна і поясніть принцип її роботи.
23. На основі яких даних розраховується необхідна кількість палива для впорскування в циліндр двигуна?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Мигаль В. Д. Автомобильные двигатели внутреннего сгорания. Параметры и системы управления : учеб. пособ. Харьков : Майдан, 2016. 320 с.
1. Бажинов О. В., Двадненко В. Я., Хакім М. Конверсія легкового автомобіля в гібридний. Харків : ХНАДУ, 2014. 160 с.
2. Кашканов А. А. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2010. 230 с.
3. Tom Denton. Automobile mechanical and electrical systems. New York, NY : Routledge, 2018. 379 p.
4. Tom Denton. Electric and hybrid vehicles. New York, NY : Routledge, 2016. 207 p.
5. William B. Ribbens. Understanding automotive electronics : an engineering perspective. Cambridge, MA : Butterworth-Heinemann, 2017. 712 p.
6. Bosch automotive electrics and automotive electronics. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 530 p.

Допоміжна

7. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А. Гібридні автомобілі. Харків : ХНАДУ, 2008. 327 с.
8. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів : підручник. К. : Каравела, 2008. 400 с.
9. Мазепа С. С., Куцик А. С. Електрообладнання автомобіля : навч. посібник. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. 168 с.
10. Автомобильный справочник Bosch. М. : За рулем, 2012. 1280 с.
11. Поливаев О. И., Костиков О. М., Ведринский О. С. Электронные системы управления автотракторных двигателей. Спб. : Лань, 2016. 200 с.
12. Головин С. И., Жосан А. А., Рижов Ю. Н. Электронные системы управления работой дизельных двигателей : учебное пособие. Орел : ОрелГАУ, 2014. 189 с.
13. Поливаев О. И., Костиков О. М., Ведринский О. С. Электронные

системы управления бензиновых двигателей : учебное пособие. М. : КНОРУС, 2011. 96 с.

14. Кусяк В. А., Руктешель О. С. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов. Минск : БИТУ, 2015. 295 с.
15. Сергеев Н. Н., Сергеев А. Н., Хонелидзе Д. М. Электрооборудование и электронные системы автомобиля. Тула : ТулГУ, 2015. 156с.
16. Коваленко О. Л. Электронные системы автомобилей. Архангельск : ИПЦ САФУ, 2013. 80 с.
17. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 1. Электронные системы зажигания. М. : АНТЕЛКОМ, 2003. 240 с.
18. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 2. Электронные системы зажигания. Катушки зажигания, датчики, октан-корректоры, контроллеры. М. : АНТЕЛКОМ, 2004. 224 с.
19. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 3. Системы автоматического управления экономайзером принудительного холостого хода (САУ ЭПХХ) автомобилей. М. : АНТЕЛКОМ, 2003. 160 с.
20. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 4. Системы световой сигнализации поворотов и аварийной сигнализации. Реле поворотов. М. : АНТЕЛКОМ, 2003. 192 с.
21. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 5. Электронные системы зажигания. Контроллеры систем управления смесеобразованием, зажиганием, двигателем. М. : ДМК Пресс, 2006. 208 с.
22. Карташевич А. Н., Белоусов В. А. Тракторы и автомобили. Тормозные системы автомобилей. Пневматические тормозные приводы. Горки : БГСХА, 2014. 52 с.
23. Котельников А. П. Мехатронные системы тормозного управления автомобилей. Екатеринбург : УрГУПС, 2011. 80 с.
24. Черепанов Л. А. Автоматические системы автомобиля. Тольятти : ТГУ, 2006. 132 с.
25. Кашкаров А. П. Автомобильные кондиционеры. М. : ДМК-Пресс,

2012. 112 с.

26. Демидов Н. Н., Красильников А. А., Элизов А. Д. Конструирование и расчет автомобилей и тракторов. Электромобили : учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 96 с.
27. Jürgen Garcke, Eckhard Karden, Patrick T. Moseley. Lead-acid batteries for future automobiles. Amsterdam : Elsevier, 2017. 669 p.
28. Andreas Luescher. Urban shrinkage, industrial renewal and automotive plants. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 129 p.
29. Ashish Bharadwaj. Environmental regulations and innovation in advanced automobile technologies. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2018. 119 p.
30. Chandan Deep Singh, Jaimal Singh Khamba. Manufacturing competency and strategic success in the automobile industry. New York, NY : CRC Press, 2019. 239 p.
31. Junxiu Wang. Development of a society on wheels. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 316 p.
32. Markus Mueck. Networking vehicles to everything evolving automotive solutions. Berlin : CPI books GmbH, 2018. 234 p.
33. Uwe Winkelhake. The digital transformation of the automotive industry catalysts, roadmap, practice. Wiesbaden : Springer, 2018. 317 p.
34. Vivek D. Bhise. Automotive product development. A systems engineering implementation. Boca Raton, FL : CRC Press, 2017. 571 p.
35. Yi Wu. Achieving supply chain agility : information system integration. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 242 p.
36. Norton Robert. Automotive Milestones. The technological development of the automobile : who, what, when, where, and how it all works. South Norwalk, Connecticut : Industrial Press, Inc., 2016. 322 p.
37. Martin Thaddeus. Classic car electrics: tips, techniques & step-by-step repair, restoration & maintenance procedures. London : Veloce publishing, 2015. 299 p.
38. Konrad Reif. Brakes, brake control and driver assistance systems. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 284 p.
39. Daniele Fabrizio Bignami, Alberto Colorni Vitale, Alessandro Lué Roberto Nocerino. Electric vehicle sharing services for smarter cities. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2017. 280 p.
40. Emanuele Crisostomi, Robert Shorten, Sonja Stüdl. Electric and plug-in hybrid vehicle networks : optimization and control. Boca Raton, FL : CRC Press, 2018. 261 p.

41. Gianfranco Pistoia, Boryann Liaw. Behaviour of lithium-ion batteries in electric vehicles : battery health, performance, safety, and cost. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2018. 343 p.
42. John G. Hayes, Abas Goodarzi. Electric powertrain : energy systems, power electronics and drives for hybrid, electric and fuel cell vehicles. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2018. 557 p.
43. Harrop Peter, Das Raghu. Car traction batteries - the new gold rush 2010-2020. Cambridge, UK : IDTechEx, 2020. 271 p.
44. Lance Noel, Gerardo Zarazua de Rubens, Johannes Kester. Vehicle-to-Grid : a sociotechnical transition beyond electric mobility. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 271 p.
45. Larry E. Erickson, Jessica Robinson, Gary Brase. Solar powered charging infrastructure for electric vehicles. Boca Raton, FL : CRC Press, 2017. 183 p.
46. Mehdi Rahmani-Andebili. Planning and operation of plug-in electric vehicles : technical, geographical, and social aspects. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 251 p.
47. Nam Kwang Hee. AC motor control and electrical vehicle applications. Boca Raton, FL : CRC Press, 2019. 575 p.
48. Ottorino Veneri. Technologies and applications for smart charging of electric and plug-in hybrid vehicles. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2017. 323 p.
49. Patricia Egede. Environmental assessment of lightweight electric vehicles. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2017. 141 p.
50. Philipp Bergmeir. Enhanced machine learning and data mining methods for analyzing large hybrid electric vehicle fleets based on load spectrum data. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2018. 192 p.
51. Xiong Rui, Welxiang Shen. Advanced battery management technologies for electric vehicles. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2019. 390 p.
52. Teresa Donato. Hybrid electric vehicles. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2017. 154 p.
53. Wei Liu. Hybrid electric vehicle system modeling and control. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2017. 582 p.
54. Zhongjing Ma. Decentralized charging coordination of large-scale plug-in electric vehicles in power systems. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2020. 252 p.

Інформаційні ресурси

55. Автоэлектрика. URL: <https://www.12v-club.ru/articles/6/index.html> (дата звернення: 26.01.2020).
56. Зажигание. URL: <http://dimasen.narod.ru/zazhig/index.html> (дата звернення: 26.01.2020).
57. Системы зажигания автомобилей - общее устройство и типы. URL: <http://www.ardio.ru/ignsys.php> (дата звернення: 26.01.2020).
58. Плазменное зажигание. URL: <http://icarbio.ru/articles/plazmennoe-zazhiganie.html> (дата звернення: 26.01.2020).
59. Автомобильный ЧИП. Что это такое? URL: <https://smartkey.com.ua/blog/avtomobilnyij-chip> (дата звернення: 26.01.2020).
60. Эффективные средства защиты автомобиля от угона - иммобилайзер и сигнализация. URL: <https://labavto.com/elektronika/safe/immobilajzer-i-signalizatsiya/> (дата звернення: 26.01.2020).
61. Иммобилайзеры: штатный и дополнительный. Сравнение современных моделей. URL: <https://www.ugona.net/article/immobilajzery-shtatnyi-i-dopolnitelnyi-sravnienie-sovremennykh-modelei-33.html> (дата звернення: 26.01.2020).
62. Для чего тормозам система ABS. URL: <https://www.drive.ru/technic/4efb331400f11713001e38cb.html> (дата звернення: 26.01.2020).
63. Глобальные технические правила ООН № 8 - Электронные системы контроля устойчивости. URL: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a8r.pdf> (дата звернення: 26.01.2020).
64. Круиз-контроль. URL: <http://www.zr.ru/archive/zr/1990/01/sovremiennaia-avtomobil-naia-tiekhnika> (дата звернення: 26.01.2020).
65. Спутниковая навигация в автомобиле. URL: <http://www.nkj.ru/archive/articles/7341/> (дата звернення: 26.01.2020).
66. История развития электромобиля. URL: <https://efut.ru/a/65-istorija-razvitija-jelektromobilja.html> (дата звернення: 26.01.2020).
67. How car electrical systems work. URL: <https://www.howacarworks.com/basics/how-car-electrical-systems-work> (дата звернення: 26.01.2020).
68. How Brake Assist Works. URL: <http://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/brake-assist.htm> (дата звернення: 26.01.2020).