

ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДВЗ

Електронна система автоматичного управління двигуном (ЕСАУ-Д) складається з датчиків для постійного контролю за його параметрами і параметрами навколишнього середовища, електронного блоку керування (ЕБК) на основі мікропроцесора і виконавчих пристроїв, за допомогою яких ЕБК керує двигуном по закладеній у його пам'ять програмі та у відповідності з інформацією від датчиків [1].

Електронне управління необхідно для задоволення високих вимог щодо екологічності, паливної економічності, експлуатаційних характеристиках, зручності обслуговування і діагностики, що висуваються до сучасних автомобільних двигунів законодавчо і споживачами. У вихлопних газах містяться залишки вуглеводневого палива (СН), окис вуглецю (СО), двоокис вуглецю (СО₂), оксиди азоту NO_x, азот (N) і кисень (O₂). Вміст вуглеводнів вимірюється в частинах на мільйон за обсягом [2].

Нормально працюючий двигун спалює в циліндрах практично все паливо. Окис вуглецю – нестійка хімічна сполука, легко вступає в реакцію з киснем, у результаті якої утворюється двоокис вуглецю СО₂. СО – отруйний газ, вступаючи в легенях людини в реакцію з киснем, викликає сильне отруєння (можливий летальний наслідок). Рівень СО у вихлопних газах вимірюється у відсотках і не повинен перевищувати 0,5 %. Двоокис вуглецю СО₂ – результат з'єднання вуглецю із палива з киснем повітря. Допустимий вміст 12 ... 15 %. Високі значення свідчать про хорошу роботу двигуна.

Низький рівень СО₂ свідчить про те, що паливно-повітряна суміш (ПП-суміш) багата чи бідна. Підвищення концентрації СО₂ в атмосфері сприяє розвитку парникового ефекту. Кисень – у повітрі його 21 %, і більша частина вступає в реакцію з паливом. Рівень кисню у вихлопних газах повинен бути низьким, менше 0,5 %. У камері згоряння двигуна утворюється група оксидів азоту – безбарвний газ без смаку і запаху. Двоокис азоту NO₂ – рудуватий газ із кислим їдким запахом, слабо токсичний. Оксиди азоту формуються в камері згоряння двигуна при температурі вище 1370 °С (2500 °F) або при великому тиску [3].

На роботу бензинового двигуна сильно впливає співвідношення між масою повітря і палива в горючій суміші. В ідеальному випадку при повному спалюванні 1 кг (1 л) бензину в 14,7 кг (10 м³) повітря утворюються нетоксичні речовини вода та двоокис вуглецю. Співвідношення між масою повітря і палива, рівне 14,7:1, називається стехіометричним. Якість ПП-суміші визначається коефіцієнтом надлишку повітря λ , який дорівнює відношенню фактичного складу ПП-суміші до її стехіометричного складу [4].

Повне згоряння палива в циліндрах ДВС має місце при $\lambda = 1$. Але, у зв'язку з низкою причин, навіть при стехіометричному складі ПП-суміші згорання здійснюється не повністю й утворюються токсичні речовини.

Згоряння багаті ПП-суміші ($\lambda < 1$) призводить до появи надлишкової кількості CO, H₂ і CH. Бідні ПП-суміші ($\lambda = 1$) згоряють з утворенням NO_x і призводять до пропусків запалення. У каталітичному газонейтралізаторі, що встановлюється на сучасному автомобілі, відбуваються хімічні реакції, які зменшують концентрацію токсичних речовин у вихлопних газах:



У сучасних газонейтралізаторах як каталізatori хімічних реакцій використовують благородні метали, наприклад платину. Для нормальної експлуатації каталітичного газонейтралізатора необхідна підтримка стехіометричного складу ПП-суміші з високою точністю – менше 1 %. В іншому випадку нейтралізатор поступово деградує. Така точність дозування без електронного управління недосяжна. У справному каталітичному нейтралізаторі до 90 % токсичних речовин переробляється в нетоксичні. Неоптимальні значення кута випередження запалювання призводять до збільшення концентрації CH у вихлопних газах.

Точне завдання кута випередження запалювання для всіх режимів роботи двигуна можливе тільки з допомогою електронної системи управління. У дизелях паливо вприскується безпосередньо в циліндри і запалюється за рахунок розігріву повітря, яке стискається. У дизелях λ завжди більше одиниці. При оптимальних значеннях $\lambda = 1,1 \dots 1,2$ у вихлопних газах міститься мінімальна кількість сажі, CH і CO. На дизелях працюють двокомпонентні окислювальні каталітичні нейтралізатори, що перетворюють CH і CO в CO₂ і H₂O.

Застосування трикомпонентного каталітичного нейтралізатора неможливе через Л. П. Клименко, О. Ф. Прищепов, В. І. Андреев, В. Ю. Голдун надлишок повітря. На процес згоряння палива сильно впливає точність синхронізації його вприскування. Наприклад, похибка початку вприскування в 1° оберту колінчастого вала веде до збільшення вмісту у вихлопних газах на 5 % і CH на 15 %. Для зменшення їх концентрації на дизелях, як і на бензинових двигунах, застосовується система рециркуляції вихлопних газів.

Економія палива в двигунах з електронним управлінням досягається за рахунок його більш точного дозування у всіх режимах роботи і відключення подачі палива, коли це припустимо, наприклад, при гальмуванні двигуном. Збіднення горючої ПП-суміші з метою економії палива призводить до необхідності збільшувати кут випередження запалювання, тому бідна суміш горить повільно, але при цьому зростає токсичність вихлопних газів. Управління кутом випередження запалювання здійснюється електронною автоматикою шляхом компромісу між кількістю споживаного палива та вмістом токсичних речовин у вихлопних газах за складним алгоритмом. ЕБК у фоновому режимі постійно контролює справність підключених до комп'ютера датчиків і виконавчих механізмів, а також справність систем, вихід із ладу яких веде до збільшення забруднення навколишнього середовища (каталітичний газонейтралізатор, система подачі палива і т. д.

У сучасних системах керування двигунами встановлюються, як правило, датчики масової витрати повітря [5,6]. Визначивши необхідну масу палива FM, контролер за відомою продуктивності форсунок обчислює для них базові значення часу включення. Для того щоб маса палива, яка подається через форсунки, залежала тільки від тривалості їх включення, в рампі форсунок щодо впускного колектора спеціальним регулятором підтримується постійний тиск палива. Базові значення тривалості включення форсунок-контролер коригує залежно від режиму роботи двигуна. Так реалізуються компенсація змін електромеханічних характеристик форсунок при варіаціях напруги бортової мережі, корекція по сигналу від датчика кисню, збагачення паливної суміші при прогріванні двигуна і т. д.

У двигунах із розподіленим впорскуванням, залежно від складності та досконалості системи, управління подачі палива проводиться таким чином: – усі форсунки включаються одночасно один раз за один оборот колінчастого валу; – форсунки включаються групами, наприклад, парами для 4-циліндрового двигуна, один раз на 4 такти. Групи управляються роздільно; – форсунки управляються незалежно, тобто подача палива на відповідному такті впуску ПП-суміші в кожен циліндр регулюється індивідуально.

Управління за сигналом датчика кисню. Сигнал із датчика кисню надходить в ЕБК двигуна, де порівнюється з опорною напругою $V_S = 0,45$ В. Ця напруга знаходиться приблизно посередині між рівнями сигналів для збідненої і збагаченої ТВ-суміші для цирконієвого датчика. Коли сигнал із датчика кисню перевищує опорний рівень, програмне забезпечення ЕБК двигуна визначає робочу ПП-суміш як збагачену й ЕБК починає поступово зменшувати тривалість імпульсу відмикання форсунок. Датчик реагує на зміну складу паливо-повітряної суміші з деякою затримкою. Чим довше датчик кисню індикує збагачений склад ПП-суміші, тим більше зменшується тривалість імпульсу відмикання форсунок і тим бідніше стає ПП-суміш.

У результаті таких дій вихідний сигнал датчика кисню перейде на рівень нижче опорного і ЕБК зафіксує збіднений склад суміші. Далі починається поступове збільшення тривалості імпульсу відмикання форсунок, і збагачення ПП-суміші буде продовжуватися до тих пір, поки датчик кисню знову не переключиться. Таким чином, склад ПП-суміші постійно коливається між збідненим і збагаченим станами навіть при роботі справного датчика кисню при постійному навантаженні двигуна. У такому випадку має місце релейна стабілізація при коливаннях щодо граничного циклу. Елементи електронних систем керування автомобільними двигунами

Для більшості двигунів при роботі на холостому ходу частота f лежить у діапазоні 0,5 ... 2,0 ГЦ. У новітніх ДВС – до 1 ГЦ. Відзначимо, що дана релейна система стабілізації підтримує стехіометричний склад ПП-суміші з похибкою 1 ... 5 %. Каталітичний газонейтралізатор має деякий робочий об'єм для вихлопних газів, що виконує функцію ресівера, демпфуючого коливання в складі відпрацьованих газів. Таким чином, у ресивері каталізатора продукти згоряння перемішуються й усереднений їх склад стає близьким до складу продуктів згоряння стехіометричної ПП-суміші. Це сприяє більш ефективній

роботі газонейтралізатора, і кількість токсичних речовин на його виході стає мінімальною. Відзначимо також, що через затримку спрацювання системи управління складом ПП-суміші за сигналом датчика кисню не має необхідної швидкодії. Наслідком інерційності може бути збільшення викиду токсичних речовин із вихлопними газами при роботі двигуна на перехідних режимах. На практиці контролер для керування подачею палива використовує не тільки сигнал із датчика кисню, але й калібрувальні діаграми в осях «оборотів – навантаження двигуна», що зберігаються в пам'яті ЕБК.

Управління кутом випередження запалювання. Правильна установка поточного значення кута випередження запалювання оптимізує обертовий момент на валу двигуна, мінімізує вміст токсичних речовин у вихлопних газах, зменшує витрату палива, покращує їздові характеристики, виключає детонацію. Базові значення для визначення кута випередження запалювання залежно від навантаження і обертів двигуна закладені в постійній пам'яті контролера. Їх отримують під час експериментальних досліджень знову розроблюваного двигуна на стендовому динамометрі. Базові значення коригуються залежно від режиму роботи двигуна: перегрів, прискорення, включення системи рециркуляції вихлопних газів і т. д. У деяких системах, змінюючи кут випередження запалювання, стабілізують оберти холостого ходу й регулюють оберти двигуна при перемиканні швидкостей в автоматичній коробці перемикання передач. У сучасних системах запалювання первинний струм котушки запалювання регулюється часом її підключення до напруги живлення. ЕБК визначає тривалість тимчасового інтервалу підключення за рахунок калібрувальних діаграм, що зберігаються в постійній пам'яті, і в залежності від оборотів двигуна та напруги бортової мережі виконує коригування. Робота ключа (комутатора запалювання) синхронізується так, щоб необхідне значення струму первинної обмотки котушки запалювання досягалося безпосередньо перед моментом іскроутворення.

Значення кута випередження запалювання, що забезпечують найбільш ефективну роботу двигуна, близькі до граничних, на яких виникає детонація. При виявленні детонації датчиком детонації кут випередження запалювання відповідно зменшується. У сучасних системах управління кут випередження запалювання регулюється роздільно по циліндрах.

Режими роботи електронної системи управління двигуном {7,8}:

1. Запуск двигуна Двигун при прокрутці стартером повинен швидко запускатися при будь-якій температурі охолоджувача і зовнішнього середовища. При запуску паливо подається з надлишком (багата ПП-суміш), тому погано випаровується в холодному двигуні й конденсується на стінках впускного колектора. Але свічки запалювання заливатися не повинні, інакше іскроутворення погіршиться. Під час запуску ЕБК управляє подачею палива по калібрувальних діаграмах, що зберігаються в постійній пам'яті, і коригують склад ПП-суміші за температурою охолоджувальної рідини. Датчик кисню в цей час ще не працює, тому що не прогрітий, а ПП-суміш збагачена. Кількість палива, що подається, починає зменшуватися, після того як швидкість

обертання колінчастого вала перевищить граничне значення для цього типу двигуна.

У деяких системах управління при прокрутці ДВС усі форсунки відкриваються одночасно і тільки після запуску починають працювати синхронно з тактами впускання своїх циліндрів. Кут випередження запалювання при прокрутці визначається ЕБК за обертами і температурою двигуна. Для холодного двигуна і низької швидкості прокрутки кут випередження запалювання майже дорівнює нулю. У будь-якому випадку при прокрутці ДВС значення кута випередження запалювання обмежується, тому спалах у камері згоряння до верхньої мертвої точки може повернути колінчастий вал у зворотному напрямку і пошкодити стартер.

2. Прогрівання двигуна Відразу після запуску холодного ДВС під час його прогріву система управління двигуна повинна забезпечувати: – стійку роботу двигуна; – швидкий нагрів датчика кисню і каталітичного нейтралізатора для ведення їх у робочий стан; – мінімальне споживання палива та забруднення навколишнього середовища. Для стійкої роботи холодного двигуна в нього подається збагачена ПП-суміш. Ступінь збагачення залежить від температури двигуна і всмоктуваного повітря. У деяких системах під час прогріву в каталітичний газонейтралізатор подається додаткове повітря. Утворені в циліндрах надлишки СО і СН (через збагаченої ПП-суміші) доокисляються в каталітичному нейтралізаторі. Хімічна реакція окислення прискорює розігрівання нейтралізатора. В іншому варіанті під час прогріву двигуна збільшуються оберти холостого ходу і зменшують кут випередження запалювання, що підвищує температуру вихлопних газів і прискорює розігрівання каталітичного газонейтралізатора й датчика кисню. Застосовується і електричний розігрів датчика кисню і нейтралізатора.

3. Робота в перехідних режимах У перехідних режимах, тобто при швидкому збільшенні або зменшенні навантаження або обертів ДВС, система управління повинна забезпечувати плавну стійку роботу двигуна. При прискоренні автомобіля дросельна заслінка різко відкривається, у впускний колектор надходить більше повітря. Система управління повинна швидко відреагувати, щоб не тільки не допустити збіднення робочої суміші, а й встигнути збагатити її так, щоб двигун штатно відпрацював навантаження, яке зросло. При цьому не повинно помітно збільшуватися забруднення навколишнього середовища вихлопними газами. Для забезпечення максимального обертового моменту на валу двигуна кут випередження запалювання встановлюється на межі детонації.

При гальмуванні, їзді під гору, гальмуванні двигуном подача палива різко обмежується або повністю відключається до тих пір, поки оберти двигуна залишаються вище заданого значення (трохи більше обертів холостого ходу). Система управління двигуном стежить за тим, щоб при відключенні подачі палива не перейшли в неробочий стан датчик кисню і каталітичний нейтралізатор. Зазвичай це реалізується додатковим електропідігрівом.

4. Повне навантаження При їзді автомобіля під повним навантаженням, наприклад угору, двигун повинен розвивати максимальну потужність. ЕБК

управляє складом ПП-суміші і кутом випередження запалювання за калібрувальними таблицями. Двигун має найкращі тягові характеристики при $\lambda = 0,9 \dots 0,95$, у цьому діапазоні датчик кисню не працює. Кут випередження запалювання має значення, що забезпечує максимальний обертовий момент на валу, при необхідності проводиться корекція по детонації. Екологічні показники двигуна трохи погіршуються.

5. Робота на холостих обертах У режимі холостого ходу система управління двигуном із метою економії палива підтримує мінімальні стійкі оберти. У міському циклі руху на холостому ході автомобіль споживає близько 30 % палива. Система регулювання холостих обертів повинна відпрацьовувати як стрибкоподібно, так і плавно мінливі навантаження. Оберти двигуна на холостому ході автоматично регулюються зміною кількості повітря, що подається, або кута випередження запалювання. Повітря в режимі холостого ходу зазвичай потрапляє через байпасний канал, перетин якого регулюється кроковим двигуном за командами ЕБК. Є варіанти, коли кількість повітря, яке подають, регулюється автоматично керованим електропроводом дросельної заслінки. Недоліком системи управління оборотами холостого ходу шляхом зміни пропускного перетину повітряного каналу є її інерційність, особливо при стрибкоподібних змінах навантаження.

Більш високу швидкодію має система, що працює із зміною кута випередження запалювання в заданих межах. У сучасних ЕБК для управління обертами холостого ходу використовуються обидва ці варіанти управління. Щоб двигун, що працює на холостих обертах, не зупинявся при підключенні до нього потужного навантаження (наприклад, компресора кондиціонера), спочатку від вимикача навантаження на ЕБК надходить сигнал про майбутнє збільшення навантаження, по якому ЕБК збільшує оберти двигуна, і лише потім включається навантаження.

Використання електроніки в системах керування двигуном забезпечує отримання оптимального сумішоутворення (паливо-повітря) на всіх режимах його роботи, підвищуючи при цьому динаміку, економічність, а також знижуючи кількість шкідливих викидів у навколишнє середовище, що є пріоритетним на сьогодні. Необхідно відзначити, що практично всі фірми-виробники автомобільної техніки перейшли на використання електронних систем керування двигунами, хоча ще досить велика кількість транспорту, що має старі системи живлення та запалювання, експлуатується на дорогах багатьох країн.

Література

1. Кашканов А. А. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2010. 230 с.
2. Tom Denton. Automobile mechanical and electrical systems. New York, NY : Routledge, 2018. 379 p.
3. Tom Denton. Electric and hybrid vehicles. New York, NY : Routledge, 2016. 207 p.

4. William B. Ribbens. Understanding automotive electronics : an engineering perspective. Cambridge, MA : Butterworth-Heinemann, 2017. 712 p.
5. Bosch automotive electrics and automotive electronics. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 530 p.
6. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А. Гібридні автомобілі. Харків : ХНАДУ, 2008. 327 с.
7. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів : підручник. К. : Каравела, 2008. 400 с.
8. Мазепа С. С., Куцик А. С. Електрообладнання автомобіля : навч. посібник. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. 168 с.

Науковий керівник: Дон Є.Ю., доцент кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, канд. техн. наук

Письменний Михайло, ст. гр. АА-41-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

КОЛИВАННЯ ПІДРЕСОРЕНИХ ТА НЕПІДРЕСОРЕНИХ МАС ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ КАТЕГОРІЇ N_2 ПРИ НАЇЗДІ ЙОГО КОЛІС НА ОДИНИЧНУ ПЕРЕШКОДУ

Теорія коливань є важливим розділом механіки, що має широке застосування в сучасному автомобілебудуванні. У процесі руху транспортного засобу по нерівностях дорожнього покриття виникають коливальні процеси, які суттєво впливають на комфорт, керованість, стійкість та довговічність автомобіля.

Особливе значення має дослідження коливань підресорених та непідресорених мас транспортного засобу. Підресорена маса включає кузов, кабіну та вантаж, тоді як непідресорена – елементи ходової частини, зокрема колеса, частину підвіски та мости. Взаємодія цих мас при русі автомобіля визначає характер коливань та ефективність роботи підвіски.

Розглядається транспортний засіб категорії N_2 , тобто вантажний автомобіль повною масою від 3,5 до 12 тонн. Для таких транспортних засобів питання динамічної навантаженості та коливань є особливо актуальним, оскільки вони експлуатуються в умовах змінних дорожніх навантажень і перевозять значні маси вантажу.

Одним із характерних випадків збурення коливальної системи є наїзд колес на одиничну перешкоду, що моделює нерівності дорожнього покриття. Такий вплив дозволяє оцінити динамічну реакцію транспортного засобу, визначити параметри коливань та дослідити процеси їх загасання.

Аналіз коливань підресорених та непідресорених мас при наїзді на перешкоду дає змогу оптимізувати параметри підвіски, покращити плавність ходу автомобіля та підвищити безпеку його експлуатації. Метою даної роботи є дослідження коливань підресорених та непідресорених мас транспортного