

УДК 629.114

ІВАНОВ О.С., аспірант; КОВАЛЬЧУК Г.О., доцент,  
Національний транспортний університет, м.Київ

## ПОЯВА ТА РОЗВИТОК СИСТЕМ КЕРУВАННЯ НА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

*В статті наведено огляд розвитку автоматизованих систем керування, починаючи з випуску автомобіля Ford Model T та закінчуючи автомобілями з гібридними силовими установками.*

**Ключові слова:** система керування, автоматизація, двигун, силова установка, гібрид.

### Вступ

Історія виникнення автоматизованих систем контролю починається з випуску Ford Model T, 1922 року випуску. У цій моделі контроль за випередженням запалювання здійснювався водієм за допомогою ручного регулювання раніше/пізніше. Пізніше з'явилися відцентрові регулятори випередження запалювання. В автомобілі Ford Model T контроль за паливо-повітряною сумішшю здійснювався водієм.

Регулювання температури двигуна вдосконалювалося протягом 1930-х років. Спочатку, в холодну пору року, радіатор закривався ковдрою. Це було вдосконалено встановленням регульованої радіаторної решітки. Потім почали встановлювати термостат. Учені, які брали проби повітря в Лос-Анджелесі, виявили, що СН та NO<sub>x</sub> викликають смог. Ці компоненти значною мірою знаходяться у відпрацьованих газах автомобілів. Рівень шкідливих речовин у відпрацьованих газах став однією з обмежуючих складових під час розробки автомобіля. Смог викликав контроль за відпрацьованими газами. Системи керування зменшують витрати палива та величину шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

### Мета роботи

Огляд та аналіз розвитку автоматизованих систем керування автомобілем і його системами, розгляд способів математичного моделювання та проектування.

### Основна частина

Розвиток систем автоматизованого керування починається з керування за такими параметрами роботи двигуна як кут випередження запалювання та якість паливо-повітряної суміші. Двигун – це пристрій, що виконує функцію керованого перетворення хімічної енергії палива в механічну роботу (енергію). Як об'єкт керування двигун характеризується:

• **вхідними** параметрами – параметри, що впливають на робочий процес двигуна. Їхнє значення визначається зовнішнім впливом на двигун з боку водія або системи керування двигуном (СКД), через це їх також називають керуючими. До них можна віднести:

- кут відкриття дросельної заслінки;
- кут випередження запалювання;
- циклова подача палива;
- циклове наповнення двигуна повітрям тощо.

• **вихідними** (керованими) параметрами, що характеризують стан двигуна в робочому режимі. До них відносяться:

- частота обертів колінчастого вала;
- потужність на валу;

- крутний момент;
- показник паливної економічності;
- показники токсичності відпрацьованих газів (вміст CO, CH, NOx) тощо.

• **внутрішніми** параметрами чи параметрами стану, які характеризують робочі процеси, стан забезпечуючих систем, конструктивні особливості двигуна.

Наприклад:

- температура двигуна;
- напруга в електричній мережі;
- ступінь стискання робочої суміші тощо.

• **зовнішнім** впливом випадкового характеру. До них можна віднести:

- температуру атмосферного повітря;
- атмосферний тиск;
- вологість повітря тощо.

Основним задачами СКД є забезпечення оптимального складу робочої суміші в двигуні та запалювання її в циліндрі двигуна в необхідний момент часу. Склад робочої суміші характеризується двома основними параметрами: відношенням кількості палива й повітря в складі суміші, показник – «лямбда», гомогенністю (однорідністю), тобто якістю змішування складових частин суміші.

Основними принципами керування двигуном є:

- циклічність керуючих дій синхронізовано з тактами робочого циклу двигуна;
- поєднання програмного керування зі зворотним зв'язком;
- оптимальність та адаптивність керування.

Вважається, що основне призначення системи керування двигуном полягає в забезпеченні максимальної потужності двигуна при мінімальній витраті палива, а також у забезпеченні мінімального складу шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Базовим елементом в системі керування є зворотний зв'язок. Метою є підтримка тісного взаємозв'язку між бажаними та дійсними параметрами рис.1.

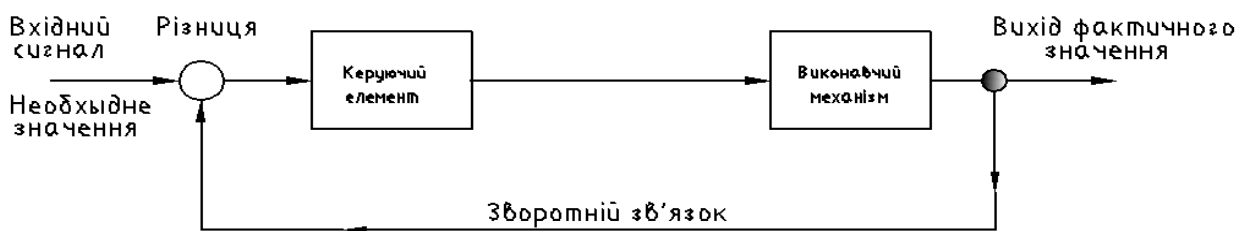


Рис.1. Схема зворотного зв'язку

На автомобілі Ford Model T 1922 року випуску контроль за кутом випередження запалювання та якістю паливо-повітряної суміші здійснювався водієм за допомогою важеля на рульовій колонці. Пізніше форма автоматизованого керування забезпечувалась важелями в розподілювачі, що змінювали кут випередження запалювання в залежності від зміни обертів двигуна, та вакуумними діафрагмами, що змінювали кут випередження запалювання в залежності від навантаження двигуна. Контроль за кутом випередження запалювання та за якістю паливо-повітряної суміші вдосконалювався протягом всієї історії розвитку систем автоматизованого контролю. Система запалювання та система живлення паливом можуть бути підсистемами комплексної системи керування та незалежними системами.

Після систем з батарейним запалюванням почали з'являтися системи з електронним запалюванням, що поділяються на індуктивні, конденсаторні, та з електронним переривником. Ін-

дуктивні в свою чергу поділяють на системи з постійним кутом замкнутого стану контактів, з постійною енергією, з цифровим керуванням. Сьогодні на сучасних автомобілях установлюють мікропроцесорні системи запалювання, які керують кутом випередження запалювання в залежності від показників багатьох датчиків та контролюють його за допомогою зворотного зв'язку. Прикладом зворотного зв'язку є зворотний зв'язок за детонацією. Детонація визначається за допомогою спеціальних датчиків, встановлених на блоці циліндрів. У пам'яті блока керування зберігаються значення середніх рівнів вібрацій кожного циліндра, що характеризують його переддетонаційний стан. Якщо сигнал детонації від будь-якого циліндра перейде встановлений для нього рівень, блок керування формулює сигнал на зменшення випередження запалювання саме в цьому циліндрі на деякий невеликий кут, наприклад, на 1,5–2 градуси. Після цього, якщо детонація зникає, з кожним циклом відбувається випередження запалювання на малу величину до значення, що записано в карті запалювання. Так процедура безперервно повторюється для кожного циліндра в кожному циклі. В результаті кожен циліндр налаштовується індивідуально в режимі найбільшої ефективності, що досягається саме на межі детонації.

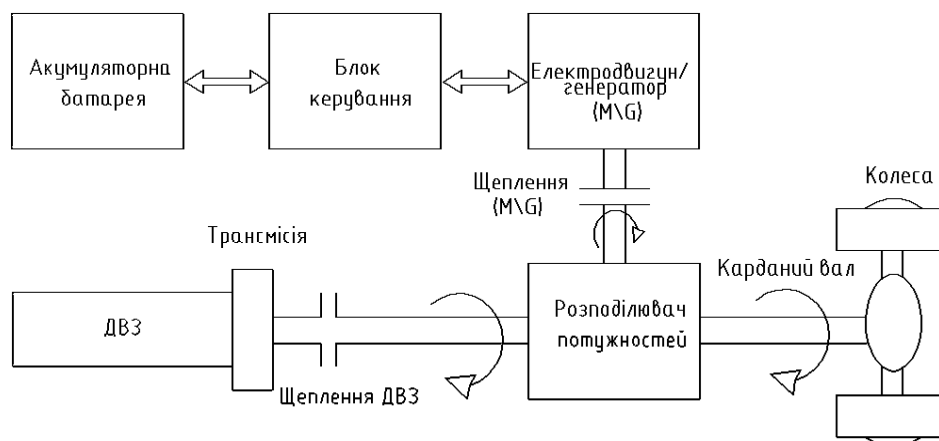
Контроль за якістю паливо-повітряної суміші на початку своєї історії здійснювався за допомогою карбюратора. Карбюратор постійно вдосконалювався, для покращення якості контролю до нього додавалися наступні підсистеми: головна дозуюча система, система холостого ходу, економайзер, прискорювальний насос, пусковий пристрій. До переваг карбюратора можна віднести простоту, надійність та дешевизну. Крім переваг, вони мали ряд недоліків. Насамперед це неможливість приготувати необхідний склад паливо-повітряної суміші для всіх режимів роботи двигуна. Крім цього, карбюратор не дозволяє забезпечити рівномірне розподілення суміші по циліндрах. Першими заміну карбюратору почали шукати виробники авіаційних двигунів. Наприкінці 30-х років вони почали впровадження нової системи паливоподачі, в якій бензин паливним насосом високого тиску (ПНВТ) подавався к форсункам, що розпилювали його безпосередньо в циліндр. В 1952 році споживачам запропонували Gutbrod 600 і Goliath 700 GP. Ці мікролітражки з робочим об'ємом 0,6 і 0,7 л стали першими у світі серійними автомобілями, на яких встановлювалася система безпосереднього впорскування фірми Bosch. В 1967 році створюють систему електронного впорскування D-Jetronic. У ній застосовувався електронний блок (контролер), який брав на себе функцію керування. ПНВТ замінили на електробензонасос через його малий строк служби та високу вартість, паливо розпилювалось не в циліндр, а в повітряний канал в місці впускних клапанів. У форсунках додалися електромагнітні клапани, що керувалися контролером. Кількість упрснутого палива визначалася часом відкритого стану електромагнітного клапана форсунки. Керуючий імпульс формулював контролер у залежності від навантаження, частоти обертання та температурного режиму двигуна. Введення керуючої електроніки на автомобілях не в усіх спеціалістів викликало погодження, частина з них все одно звертала увагу на механічні прилади. В 1973 році на ринку з'явилася система Bosch K-Jetronic. У цій системі датчик потоку повітря зроблений у вигляді пластини, яка розташовувалась поперек потоку повітря, що надходив до двигуна. Ця пластина через важіль з'єднувалась з плунжерним дозатором розподільвача. Чим більше повітря споживав двигун, тим сильніше відхилялась пластина датчика та на більшу відстань переміщувався плунжер, що в свою чергу приводило до зростання тиску перед форсунками. Для збагачення суміші під час запуску та прогрівання двигуна використовувався біметалічний терморегулятор. В 1982 році цю систему вдосконалили: в дозатор-розподільвач встановили електромагнітний регулятор, що керувався електронним блоком, а датчик потоку повітря доповнили потенціометром, сигнал з якого поступав до контролера. Ця система отримала назву KE-Jetronic. Протягом 70–90-х років системи контролю за якістю паливо-повітряної суміші постійно вдосконалювались. З'явилась велика кількість варіантів, створених як самою фірмою Bosch, так й іншими компаніями. У них змінювався склад датчиків, вводились антитоксичні системи, ускладнювались алгоритми керування. Найбільших змін за-

знали блоки керування. На першому етапі вони були аналоговими, потім перейшли на цифрову технологію, а потім з'явилися мікропроцесорні контролери. В останніх складність алгоритму керування обмежувалась тільки фантазією розробників. З 1955 року знову почали з'являтися двигуни з безпосередньою системою впорскування. У цих двигунах була реалізована ідея шарового сумішоутворення. Суть його полягає в тому, що в середині камери згорання створюється неоднорідна суміш. У місці свічки запалювання вона близька до стереометричної, а далі відношення кількості повітря до кількості палива збільшується, тобто суміш збіднюється. Це досягається за допомогою впорскування пального в 2–3 фази.

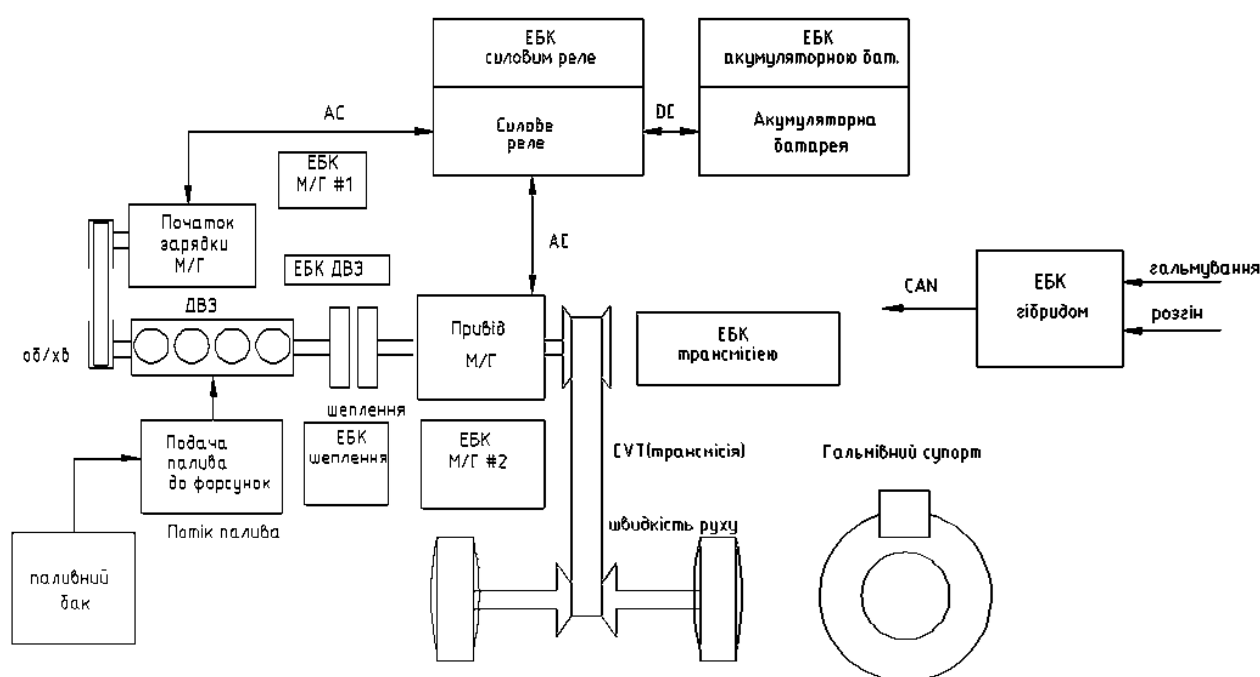
Зараз найбільшого розповсюдження набули комплексні системи керування двигуном. Вони, як мінімум, об'єднують дві підсистеми: систему керування складом паливо-повітряної суміші та систему керування кутом випередження запалювання. Дослідження характеристик роботи двигуна сумісно з вимогами до складу відпрацьованих газів показують, що ці системи не є незалежними одна від одної. Наприклад, зміна складу паливо-повітряної суміші повинна викликати зміну моменту запалювання для забезпечення максимальної ефективності роботи двигуна (за обраним критерієм). Сучасна концепція автоматизованих систем керування основана на застосуванні єдиного блоку керування системою запалювання та паливною, а також іншими системами автомобіля: рульового керування, автоматичною коробкою передач, вмиканням і вимиканням зчеплення, бортовою діагностикою тощо. Зазвичай в системах керування запалювання та подачею палива використовуються датчики одного типу. Тому використовують один блок керування та один набір датчиків щодо керування обома системами.

Кращої паливної економічності та найменшої кількості шкідливих викидів можливо досягнути через використання системи «Старт-стоп» та гібридних силових установок. Система «Старт-стоп» самостійно вимикає двигун при зупинці автомобіля перед світлофорами або шляхбаумами. Керування системою здійснюється за допомогою блоку керування двигуна, тому відповідні функції передбачені в програмному забезпеченні. Система «Старт-стоп» з АКП працює таким чином: автомобіль наближається до світлофору з червоним сигналом, водій зупиняє автомобіль, нога водія залишається на педалі гальм, система старт-стоп вимикає двигун, після того, як загорівся зелений сигнал світлофора і водій відпустив педаль гальм, система «Старт-стоп» запускає двигун. Система «Старт-стоп» активується автоматично в тому випадку, якщо після початку руху автомобіль близько чотирьох секунд рухається зі швидкістю більше ніж 3 км/год. Якщо водій не хоче використовувати систему «Старт-стоп», він може вимкнути її за допомогою відповідного вимикача. Для роботи системи «Старт-стоп» блоку керування двигуном, окрім сигналів від педалей акселератора та гальм, необхідна велика кількість іншої інформації. Для того щоб система «Старт-стоп» змогла вимкнути двигун, крім необхідних дій водія з педаллю гальм, зчепленням, коробкою передач, повинні бути виконані такі умови: автомобіль зупинився, оберти двигуна не перевищують 1200 об/хв., температура відпрацьованих газів знаходиться в межах 25–100°C, розрідження в підсилювачі гальмівній системі перевищує 550 мбар, АКБ має достатній для повторного запуску рівень заряду, температура АКБ знаходиться в межах 1–55°C. Для автоматичного пуску двигуна системою «Старт-стоп» також повинні бути виконані певні умови: водій пристебнутий пасами безпеки, капот закритий, двері водія закриті, педаль гальм відпущена (АКП).

Однією з найскладніших систем автоматизованого керування є система керування автомобілів з гібридними силовими установками рис.2. Гібридний автомобіль поєднує в собі два джерела енергії: ДВЗ та електродвигун. Поєднання двох джерел енергії призводить до виникнення декількох режимів роботи гібрида. Саме в багаторежимності роботи гібриду та в організації взаємодії між компонентами полягає складність процесу керування. Система керування повинна забезпечувати плавність та непомітність переходу між режимами роботи гібриду. Як приклад розглянемо процес керування під час рекуперативного гальмування рис.3.



**Рис.2. Автомобіль з гібридною силовою установкою**



**Рис.3. Взаємодія компонентів системи керування під час рекуперативного гальмування**

Під час рекуперативного гальмування мотор/генератор (М/Г) перебуває в режимі Г. Двигун при цьому може бути вимкнений. Рух автомобіля за інерцією перетворюється колесами у обертальний рух ротора М/Г, що перетворює механічну енергію руху транспортного засобу в електричну. При натисканні водієм на педаль гальм до електронного блоку керування (ЕБК) гібридом поступає сигнал. У залежності від сили сигналу, ЕБК гібрида вираховує, яке зусилля необхідно докласти для сповільнення автомобіля. ЕБК гібридом посилає ЕБК ДВЗ сигнал про необхідність припинення подачі палива. ЕБК ДВЗ для запобігання різких ривків поступово зменшує подачу палива, оберти двигуна завдяки навантаженню від М/Г. Від ЕБК акумуляторної батареї поступає сигнал про ступінь зарядженості і температури батареї, в результаті чого ЕБК гібридом приймає рішення щодо можливості чи неможливості зарядки батареї. Відбувається розімкнення зчеплення в результаті подачі сигналу від ЕБК гібридом до ЕБК зчепленням. ЕБК гібридом, в залежності від швидкості руху, визначає, який крутний момент та яку частоту обертання необхідно прикласти до М/Г, щоб плавно зупинити автомобіль, та посилає їхнє значення на ЕБК трансмісії. ЕБК трансмісією обирає необхідну передачу та вмикає її. ЕБК М/Г переми-

кає М/Г у режим генератора. Від ЕБК силовим реле до ЕБК гібридом поступає сигнал щодо допустимої сили струму для зарядки батареї. Якщо дана сила струму не може повністю забезпечити бажане сповільнення автомобіля, то це компенсується за допомогою гальмування основною гальмівною системою.

### **Висновок**

Подальша робота буде присвячена проведенню теоретичних досліджень, що пов'язані з розробкою систем керування рухом гібридного автомобіля та його окремих систем.

### **Список літератури**

1. Учебный курс – СУД «Школа диагностики»: компания «Диагмакс», Москва – 2003 г.
2. Allen E. Fuhs Hybrid vehicles and the future of personal transportation, 2009 by Taylor & Francis Group.

**Иванов А.С., Ковальчук Г.А. Появление и развитие систем управления на транспортных средствах**

***Аннотация.** В статье приведен обзор развития автоматизированных систем управления, начиная с выпуска автомобиля Ford Model T и заканчивая автомобилями с гибридными силовыми установками.*

***Ключевые слова:** система управления, автоматизация, двигатель, силовая установка, гибрид.*

**Ivanov O.S., Kovalchuk G.O. The emergence and development of control systems on vehicles**

***Abstract.** The article provides an overview of the process of automated control systems since the release of car Ford Model T and ending with a hybrid vehicles.*

***Keywords.** Control system, automation, engine, propulsion, hybrid.*

*Стаття надійшла до редакції 15.08.2014 р.*