

УДК 621.43

Рябошاپка Н.Є.¹, Вайновський О.С.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Т-213 НУ «Запорізька політехніка»

**АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ ПАЛИВНИМИ ФОРСУНКАМИ
В СИСТЕМАХ ПРЯМОГО ВПОРСКУВАННЯ ПІД ЧАС ПЕРЕХІДНИХ
РЕЖИМІВ РОБОТИ ДВИГУНА З УРАХУВАННЯМ ТИСКУ
ВПОРСКУВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРИ ЗАРЯДУ ТА КОРЕКЦІЙ ЕБУ**

Системи бензинового прямого впорскування (GDI) є базовим компонентом сучасних ДВЗ, забезпечуючи підвищену економічність, зниження токсичності та оптимізацію процесу згоряння. Управління

форсунками високого тиску є одним із найбільш складних завдань електронного блоку управління двигуном, особливо у перехідних режимах, коли навантаження та параметри робочого процесу змінюються дуже швидко.



Рисунок 1 – Принцип дії прямого впорскування GDI

Форсунки прямого впорскування працюють під тиском від 200 до 350 бар, а в найсучасніших системах – до 500 бар (рис. 1). Вони відкриваються за дуже короткий час і дозволяють виконувати багаторазове впорскування за один цикл роботи циліндра. Через електромагнітні або п'єзоелектричні елементи забезпечується точне дозування палива та формування факела розпилу. Процес керування здійснюють спеціальні драйвери в складі ЕБУ, які забезпечують високий стартовий струм для відкриття, та стабілізований утримувальний струм.

Управління форсунками базується на декількох основних картах (maps), що визначають тривалість відкриття, фазування впорскування, цільовий тиск у паливній рейці та корекційні коефіцієнти. Електронний блок керування обробляє дані датчиків у реальному часі й на їх основі визначає оптимальні параметри роботи форсунок. Усі карти взаємопов'язані та формують комплексну логіку керування паливоподачею (рис. 2).

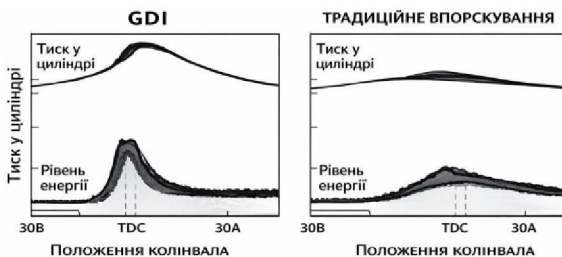


Рисунок 2 – Різниця між традиційним впорскуванням та системою GDI

До перехідних режимів належать різке відкриття або закриття дросельної заслінки, зміна частоти обертання колінчастого валу, стрибки навантаження, зміни тиску наддуву та умови холодного запуску. У ці моменти ЕБУ повинен забезпечити стабільне утворення паливоповітряної суміші та запобігти коливанням обертів, провалам тяги або детонаційним явищам.

Параметри, що визначають алгоритми керування:

- тиск упорскування (Електронний блок управління постійно коригує тиск у паливній рейці залежно від навантаження, температури палива, режиму роботи насоса високого тиску та необхідності багаторазового впорскування. Вищий тиск дозволяє зменшити тривалість імпульсу при тій самій масі палива, що є критично важливим під час швидких змін навантаження);

- температура заряду (Температура повітря та палива впливає на густину заряду, швидкість випаровування крапель і можливість виникнення детонації. За низьких температур система вимагає тривалішого імпульсу впорскування та раннього впорскування для забезпечення повноцінного утворення суміші. За високих температур необхідно коригувати фазування, щоб уникнути передчасного займання або детонаційних явищ).

ЕБУ застосовує короткострокові та довгострокові корекції подачі палива, корекції на основі датчика детонації, температурні корекції та спеціальні алгоритми збагачення у перехідних режимах. Їх сукупність дає можливість адаптувати подачу палива до поточного стану двигуна.

Під час змін навантаження ЕБУ застосовує поділ упорскування на попереднє, основне та післявпорскування. Це дозволяє стабілізувати тиск у рейці, покращити підготовку суміші, зменшити ймовірність детонації та знизити емісії незгорілих вуглеводнів. Багаторазове впорскування є одним з ключових інструментів оптимізації процесу згоряння в GDI двигунах.

Маса палива, що подається за цикл, залежить від тривалості імпульсу відкриття форсунки, тиску в рейці, температури палива та сумарних корекційних коефіцієнтів. У перехідних режимах ЕБУ перераховує ці значення у реальному часі, щоб забезпечити стабільність складу паливоповітряної суміші.

Під час різкого натискання на педаль акселератора відбувається збільшення навантаження та зміна тиску у впускному тракті. Система може відчувати короточасний дефіцит палива, пов'язаний з інерцією насоса високого тиску. ЕБУ компенсує це збільшенням імпульсу форсунок, підняттям цільового тиску рейки, корекцією фаз упорскування та додатковим збагаченням для уникнення провалів тяги.

При швидкому закритті дроселя повітряний потік різко зменшується, збільшується розрідження в колекторі, а наддув падає. ЕБУ скорочує подачу

палива, може повністю відключати впорскування під час гальмування двигуном і знижує цільовий тиск у рейці для економії енергії насоса. Додаткові корекції застосовуються для контролю токсичності вихлопних газів.

За підвищених температур заряду збільшується ризик передчасного займання та детонації, тому ЕБУ зміщує запалювання, коригує фазу впорскування та може використовувати додаткові цикли впорскування для охолодження суміші. За низьких температур, навпаки, система збільшує тривалість імпульсу, виконує раннє впорскування для покращення випаровування та стабілізації згоряння, а також підвищує тиск упорскування.

Алгоритми управління форсунками в системах GDI є критичним елементом електронної системи керування двигуном. Перехідні режими потребують найвищої точності розрахунків, оскільки саме в них виникають ризики нестабільної роботи, провалів, детонації та погіршення екологічних характеристик. Сучасні ЕБУ використовують багаторівневі карти, температурні та навантажувальні корекції, багаторазове впорскування та адаптивні алгоритми для забезпечення максимально ефективного, стабільного та безпечного горіння паливоповітряної суміші в усіх режимах роботи двигуна.