

СУЧАСНІ МЕТОДИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФОРСОВАНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Афонін Валентин Миколайович, генеральний директор,

Приватна фірма «ПРОМЕНЕРГО»,

e-mail: prm187@ukr.net, ORCID: 0009-0006-5695-4796

Воробйов Дмитро Володимирович, аспірант,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

e-mail: vorobiovdmitro@ua.fm, ORCID: 0009-0003-4383-2923

Підвищення вимог до техніко-економічних показників та ресурсу сучасних форсованих дизельних двигунів потребує пошуку шляхів та підходів по вдосконаленню їх конструкції та систем, зокрема – систем повітропостачання та паливоподачі [1-2].

Збільшення коефіцієнту наповнення циліндра, шляхом удосконалення фаз газорозподілу, використання хвильових явищ у впускному колекторі та використання і удосконалення турбонаддуву – є пріоритетним напрямком по доведенню сучасних форсованих дизелів [3-5].

Використання двофазного та багатофазного упорскування палива, оптимізація конфігурації камери згоряння та конструкції розпилювача паливної форсунки, використання систем рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) і підвищення тиску упорскування палива – є ефективним підходом до поліпшення показників форсованих дизелів, зокрема – для зменшення швидкості зростання тиску при згорянні, поліпшення екологічних показників та збільшення моторесурсу двигуна [5-6].

На сьогодні, існує декілька шляхів по поліпшенню умов роботи форсованих дизельних двигунів, до яких можна віднести наступні:

- використання двофазного упорскування палива;
- використання багатофазного упорскування палива;
- збільшення кута та тиску упорскування палива;
- вбір закону паливоподачі та швидкості упорскування;
- оптимізація конструкції розпилювача паливної форсунки;
- та використання системи EGR.

Більш детально, приклад реалізації стратегії багатофазного упорскування палива розглянемо нижче. Стратегія багатофазного упорскування палива, яку реалізує компанія MTU на своїх дизельних двигунах у вигляді графіків наведена на рисунку 1 [3, 4].

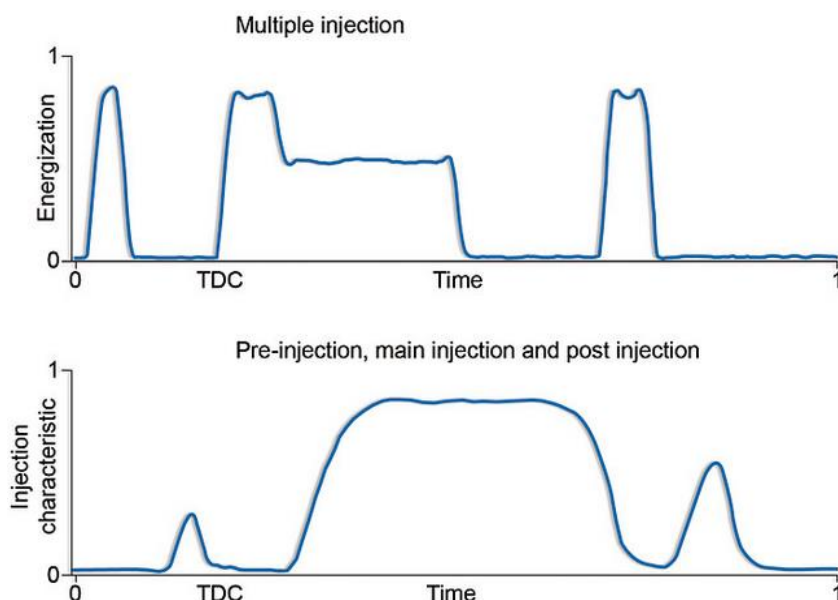


Рисунок 1 – Стратегія багатофазного упорскування палива в дизельних двигунах фірми MTU

Швидкість упорскування визначає, коли і скільки палива упорскується в циліндр. Для зменшення викидів шкідливих речовин та зниження рівня споживання палива, стратегія розвитку системи упорскування палива для двигунів MTU розділяє послідовність упорскування палива на три окремі фази (рисунок 1). Час початку упорскування, тривалість і амплітуда визначаються відповідно до карти продуктивності двигуна.

Основна фаза упорскування подає паливо для забезпечення вихідної потужності двигуна. Фаза попереднього упорскування ініціює попереднє згоряння, щоб забезпечити контрольоване згоряння палива на фазі основного упорскування. Це зменшує викиди оксидів азоту, оскільки різке спалювання запобігає високим піковим температурам. Наступна фаза, після фази основного упорскування зменшує викиди твердих часточок. Це покращує процес змішування палива та повітря під час пізньої фази згоряння, для підвищення температури в камері згоряння, що також сприяє окисленню сажі [4].

Приклад дослідження з оптимізації конструкції розпилювача паливної форсунки наведено нижче.

Зміна конструктивних параметрів розпилювача паливної форсунки дозволяє впливати на умови упорскування палива, його розпилювання у камері згоряння та ефективність роботи двигуна [3-5].

Кількість та взаємне розташування соплових отворів розпилювача паливної форсунки, їх діаметр та спосіб їх виконання - виробники обирають виходячи з конструктивних особливостей двигуна, зокрема конфігурації камери згоряння, та умов наповнення циліндра свіжим повітрям [4, 5].

В роботі авторів [5] з використанням чисельних методів проведено порівняльне розрахункове дослідження з оцінки форми соплових отворів на умови упорскування та розпилювання та виникнення гідродинамічної кавітації.

Схема завдання граничних умов для чисельного моделювання та

зовнішній вигляд варіантів виконання соплових отворів розпилювача наведено на рисунку 2.

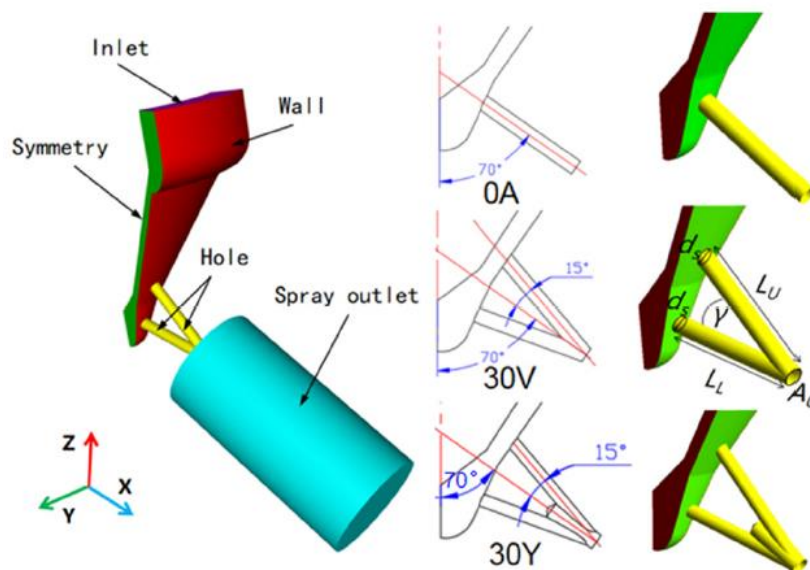


Рисунок 2 - Схема завдання граничних умов для чисельного моделювання та зовнішній вигляд варіантів виконання соплових отворів розпилювача

Висновки

- використання двофазного упорскування палива для форсованих дизельних двигунів дозволяє ефективно впливати на перебіг робочого процесу, зокрема, знижувати швидкість зростання тиску при згорянні до 50%, зменшувати максимальний тиск згоряння на 5-10%, змінювати характер кривої тепловиділення і поліпшувати екологічні показники та умови роботи двигуна (реалізується шляхом використання двох секцій паливного насоса на одну форсунку, використанням форсунок з двома пружинами та реалізацією хвильових явищ у паливній системі – тупикових каналів) при пілотній дозі палива в межах 15-25% від основної циклової подачі;

- використання багатофазного упорскування палива для форсованих дизельних двигунів також дозволяє ефективно впливати на перебіг робочого процесу (можлива кількість упорскувань досягає 9 за цикл), при цьому системи типу Common-Rail мають обмежене застосування у двигунах наземних транспортних машин, що пояснюється можливими проблемами з електронікою при впливі електромагнітних хвиль та високими вимогами до якості палива та технічного обслуговування;

- збільшення кута та тиску упорскування палива дозволяє підвищити ефективний ККД дизеля, відповідно, зменшити питому ефективну витрату палива та знизити масовий викид твердих часточок, але сприяє збільшенню максимальної температури та тиску циклу і знижує ресурс двигуна;

- вбір закону паливоподачі та швидкості упорскування дозволяє значно поліпшити експлуатаційні показники дизеля, зокрема, використання трикутного закону паливоподачі зі збільшеною швидкістю упорскування палива дозволяє при менших кутах випередження упорскування палива

(менших на 5 – 10 град. п.к.в. до ВМТ) скоротити час згорання та підвищити ефективний ККД двигуна на 2-5%, але такий метод потребує використання систем типу Common-Rail;

- оптимізація конструкції розпилювача паливної форсунки дозволяє поліпшити умови упорскування та розпилювання палива, підвищити ресурс розпилювача, збільшити швидкість подачі палива у циліндр та сприяє поліпшенню експлуатаційних показників дизеля, зокрема, використання V та Y подібних соплових отворів дозволяє майже виключити умови для виникнення гідродинамічної кавітації у соплових отворах розпилювача та сприяє підвищенню паливної економічності на 2 - 4% за рахунок скорочення фази згорання;

- використання системи EGR (зі ступенем рециркуляції в межах 0,1 – 0,15) дозволяє ефективно впливати на фази згорання у дизелі, завдяки збільшеній теплоємності очищених від сажі та охолоджених відпрацьованих газів при зовнішній рециркуляції, при цьому поліпшуються екологічні показники дизеля (викиди NO_x знижуються майже на 50%, а викиди твердих часточок на 20%) і зменшується швидкість зростання тиску при згоранні (на 1-5%) при підвищенні питомої ефективної витрати палива в межах 1 - 1,5 %.

Література

1. Experimental diesel spray characterization of the medium-duty injector with single- and multi-hole nozzle configurations under non-reacting, non-vaporizing conditions / J.-W. Park et al. *Frontiers in Mechanical Engineering*. 2022. Vol. 8., <https://doi.org/10.3389/fmech.2022.931377>.

2. Prediction formula of Aerodynamic Drag Reduction in Multiple-Vehicle Platooning Based on Wake Analysis and On-Road Experiments / K. Tadakuma et al. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*. 2016. Vol. 9, no. 2. P. 645–656. <https://doi.org/10.4271/2016-01-1596>

3. Battistoni M., Som S., Powell C. F. Highly resolved Eulerian simulations of fuel spray transients in single and multi-hole injectors: Nozzle flow and near-exit dynamics. *Fuel*. 2019. Vol. 251. P. 709–729. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.076>

4. Spray and flame characteristics of wall-impinging diesel fuel spray at different wall temperatures and ambient pressures in a constant volume combustion vessel / B. Chen et al. *Fuel*. 2019. Vol. 235. P. 416–425 <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.07.154>

5. A numerical study on the in-nozzle cavitating flow and near-field atomization of cylindrical, V-type, and Y-type intersecting hole nozzles using the LES-VOF method / Y. Deng et al. *Green Processing and Synthesis*. 2022. Vol. 11, no. 1. P. 129–142. <https://doi.org/10.1515/gps-2022-0015>

6. Effects of Multiple Injection Strategies on Heavy-Duty Diesel Energy Distributions and Emissions Under High Peak Combustion Pressures / Z. Zhang et al. *Frontiers in Energy Research*. 2022. Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.857077>