

Корисна модель належить до енергетичного машинобудування, зокрема до способів підвищення ефективності та екологічності роботи двигунів внутрішнього згоряння, та може бути використана в автомобільній, авіаційній та енергетичній галузях.

Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) є чотиритактним із примусовим іскровим запалюванням паливно-повітряної суміші, яка формується шляхом впорскування традиційного палива (бензину) та водню. Камера згоряння утворена головкою блоку циліндрів та поршнем. Основна особливість полягає у застосуванні окремої системи впорскування водню, яка забезпечує подачу стисненого газоподібного водню безпосередньо в циліндри двигуна на такті стиснення. На відміну від двотактних двигунів, де втрати пального при продувці є значними, у чотиритактному двигуні вдається забезпечити ізольоване формування паливної суміші перед запалюванням, що дозволяє застосувати більш контрольоване впорскування водню в потрібний момент циклу. Такий підхід дозволяє сформувати збіднену або стратифіковану паливну суміш із підвищеною питомою теплотою згоряння, що забезпечує більш повне згоряння та підвищення ефективності робочого процесу.

Згідно з патентом України № 87733 дата публікації 10.08.2009, відомий спосіб формування паливної суміші у циліндрі двотактного двигуна внутрішнього згоряння, який передбачає розшарування свіжого заряду з метою покращення процесів займання та згоряння палива, а також зменшення втрат свіжої суміші під час газообміну. Такий підхід дозволяє частково зменшити втрати свіжого заряду та покращити характеристики сумішоутворення в умовах двотактного циклу. Проте, через особливості конструкції двотактного двигуна із продувочними та випускними вікнами, повністю уникнути втрат палива не вдається. Крім того, така схема менш придатна для точного керування складом паливної суміші в реальному часі. На відміну від даного рішення, запропонована корисна "модель передбачає використання гібридної системи живлення, яка поєднує розподілене впорскування бензину та безпосереднє впорскування стисненого водню до циліндрів чотиритактного ДВЗ на такті стиснення. Такий підхід дозволяє формувати паливну суміш безпосередньо в камері згоряння, адаптуючи її склад у реальному часі залежно від режиму роботи двигуна. Це забезпечує кращий контроль над процесом сумішоутворення, дає змогу формувати збіднені або стратифіковані суміші з високою питомою теплотою згоряння, покращує повноту згоряння, знижує витрати палива та токсичність відпрацьованих газів.

Відомі способи використання водню як додаткового палива в ДВЗ, зокрема через впускний тракт або попереднє змішування [1-3]. Однак такі методи мають обмеження щодо контролю сумішоутворення, що може призводити до нестабільного згоряння, підвищених викидів та загрозу детонації. Безпосереднє впорскування водню в циліндри дозволяє точніше контролювати процес сумішоутворення та згоряння, зменшуючи ризики детонації та покращуючи екологічні показники.

Додатково слід зазначити, що відомі способи живлення чотиритактних двигунів з іскровим запалюванням передбачають подачу паливно-повітряної суміші в камеру згоряння та її займання електричним розрядом свічки запалювання. Такі ознаки є характерними для найближчого аналога та використовуються у традиційних системах живлення бензинових двигунів внутрішнього згоряння. Саме ці загальні ознаки є основою для формулювання обмежувальної частини формули корисної моделі.

Задача корисної моделі полягає в комплексному покращенні ефективності, паливної економічності та екологічності роботи чотиритактних двигунів внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням шляхом удосконалення системи живлення.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб сумішоутворення гібридного палива в циліндрі чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що включає подачу паливно-повітряної суміші в камеру згоряння та її займання електричним розрядом, згідно з корисною моделлю, бензин подають через систему розподіленого впорскування, а водень подають шляхом безпосереднього впорскування в циліндри двигуна через окрему паливну рампу з інжекторами, які забезпечують впорскування водню під тиском 2,5-3,0 МПа на такті стиснення, при цьому кількість водню регулюють електронним блоком керування двигуном у режимі реального часу.

Запропонована корисна модель спрямована на вирішення завдання підвищення ефективності та декарбонізації двигунів внутрішнього згоряння у складі силових установок. подача водню в циліндри двигуна здійснюється за допомогою інжекторів, адаптованих до роботи з газоподібним воднем під тиском до 3,0 МПа. Інжектори мають спеціальні направляючі елементи, що забезпечують цілеспрямоване поширення струменя водню у камері згоряння та формування однорідної паливної суміші або її стратифікації [4]. Система електронного керування двигуном забезпечує точне дозування водню у відповідності до режимів роботи, навантаження та частоти обертання колінчастого вала.

У запропонованому способі живлення подача бензину здійснюється через штатну систему розподіленого впорскування, тоді як водень подається шляхом безпосереднього впорскування в циліндри двигуна через окрему паливну рампу з інжекторами, адаптованими для роботи зі стисненим газоподібним воднем. Інжектори забезпечують впорскування водню під тиском 2,5-3,0 МПа на такті стиснення. Кількість водню, що подається, регулюється електронним блоком керування двигуном у режимі реального часу залежно від навантаження та частоти обертання, що дозволяє формувати

збіднену або стратифіковану гібридну паливну суміш у камері згоряння.

Відомо, що водень має вищу, ніж традиційні вуглеводневі палива, питому теплоту згоряння 119,9 МДж/кг, а також високу ламінарну швидкість полум'я. Це дозволяє реалізувати гомогенне збіднене згоряння з високою тепловою ефективністю та низьким рівнем викидів. Зокрема, впровадження системи впорскування водню дозволяє зменшити викиди двоокису вуглецю у порівнянні з двигунами, що працюють на чистому бензині. Окрім того, знижується ймовірність детонації завдяки високій температурі самозаймання водню та можливості контролювати фази впорскування. У запропонованій системі передбачено встановлення модифікованих свічок запалювання, покращене охолодження та активну вентиляцію картера для уникнення накопичення вибухонебезпечних сумішей.

Завдяки застосуванню зазначеного способу забезпечується підвищення ефективності двигуна, зменшення питомої витрати палива, зниження викидів токсичних компонентів, стабільна робота на широкому діапазоні навантажень та частот обертання, а також можливість адаптації до сучасних екологічних норм [5, 6].

Корисна модель дає змогу створити гібридну систему живлення на основі водню та традиційного бензину, яка поєднує переваги обох типів пального, забезпечуючи високий рівень керованості процесами згоряння та значне зниження вуглецевого сліду транспортних засобів.

Гібридна система живлення поєднує традиційне розподілене впорскування бензину з безпосереднім впорскуванням водню в циліндри двигуна на такті стиснення. Запропонована система забезпечує гнучке керування подачею водню відповідно до навантаження і режиму роботи двигуна, що дозволяє формувати збіднену або стратифіковану паливну суміш з покращеними характеристиками згоряння. Такий підхід дозволяє адаптувати роботу двигуна для досягнення максимальної ефективності при зниженні питомої витрати палива і викидів двоокису вуглецю.

Перспективним є застосування цієї системи в авіаційних двигунах внутрішнього згоряння, де підвищення питомої теплоти згоряння суміші та ефективної потужності двигуна без збільшення маси паливного запасу дає змогу збільшити дальність польоту літального апарата, а також підвищити техніко-економічні та тактико-технічні показники силової установки загалом.

Корисна модель може бути здійснена на основі стандартного чотиритактного бензинового двигуна з іскровим запалюванням, у конструкцію якого додатково інтегровано систему подачі стисненого газоподібного водню. Нижче наведено приклад реалізації способу.

1. Підготовка системи живлення

На двигун встановлюють окрему паливну рампу для подачі водню, до якої під'єднують інжектори, адаптовані для роботи зі стисненим воднем під тиском 2,5-3,0 МПа. Рампа з'єднана з балоном стисненого водню через редуктор та лінію подачі.

2. Формування паливної суміші

Під час роботи двигуна бензин подається у впускний тракт через штатну систему розподіленого впорскування. На такті стиснення електронний блок керування формує команду на відкриття інжектора водню. Подача водню здійснюється імпульсами визначеної тривалості, що дозволяє формувати необхідне співвідношення бензину та водню.

3. Впорскування водню

Інжектори водню створюють направлений струмінь, який надходить у камеру згоряння в період 40-20° до верхньої мертвої точки. Тиск подачі становить 2,5-3,0 МПа, що забезпечує стабільне надходження та рівномірне його розподілення в робочому об'ємі циліндра.

4. Регулювання подачі водню

Електронний блок керування здійснює коригування кількості водню в режимі реального часу залежно від навантаження, оборотів та температурного режиму двигуна. Це забезпечує формування гібридної паливної суміші з необхідними характеристиками.

5. Запалювання та згоряння. Після завершення сумішоутворення паливо-повітря на суміш запалюється електричним розрядом свічки запалювання. Процес згоряння відбувається у стандартному для бензинового двигуна режимі.

6. Забезпечення безпечної роботи

Для уникнення накопичення водню у картерному просторі під час роботи двигуна здійснюється активна вентиляція картера, що забезпечує видалення картерних газів.

Наведений приклад підтверджує можливість практичної реалізації способу та демонструє послідовність операцій, необхідних для впровадження гібридної системи живлення бензин-водень у чотиритактних двигунах із іскровим запалюванням.

Джерела інформації:

1. Результати дослідження газового двигуна, що працює з постійною - добавкою водню у паливі/Р. Маамрі [та ін] // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. тр. Темат. вип. Нові рішення у сучасних технологіях Харків: НТУ "ХПІ". - 2011. - № 43. - С. 61-69.; URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/14975>.

2. Левтеров А. М. Експериментальний зразок водневого автомобіля на базі моделі ГАЗ-2705/А. М. Левтеров, Ст. Д. Савицький // Автомобільний транспорт. - 2008. - Вип. 22. - С. 17-23. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/at_2008_22_2.

3. Парсаданов І.В. Урахування шкідливої дії діоксиду вуглецю при - комплексній оцінці витрати палива і токсичності відпрацьованих газів дизельних двигунів / І.В. Парсаданов, І.В. Рикова // Двигуни внутрішнього згоряння. - 2022. - №1. - С. 35-40. URL:<https://doi.org/10.20998/0419-8719.2022.1.05>.

4. D. Lejsek, D. Seboldt, J. Geiler, P. Leick, M. Frank and K. Stapf, "Mixture Formation and Combustion in a Passenger Car Engine with Low Pressure H₂ Direct Injection, " in 19th Symposium "Sustainable Mobility, Transport and Power Generation", Graz, 2023. URL: [https://www.researchgate.net/publication/374805876_Mixture_Formation_and_Combustion_in_a_Passenger_Car_Engine_with_Low_Pressure_H2_Direct Injection](https://www.researchgate.net/publication/374805876_Mixture_Formation_and_Combustion_in_a_Passenger_Car_Engine_with_Low_Pressure_H2_Direct_Injection).

5. Марченко А.П. Дослідження параметрів згоряння бензину з добавкою водню в двигуні з іскровим запалюванням на режимах зовнішньої швидкісної характеристики / А.П. Марченко, М.Т. Міщенко // Двигуни внутрішнього згоряння. - 2024. - №1. - С. 52-60. URL: <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.49.05>.

6. Depczyński, W. P., Marchenko, A., Mishchenko, S., Mishchenko, M. a (2025). The effect of hydrogen addition to traditional petrol engine fuel in a hybrid power plant on its environmental performance and fuel efficiency. Combustion Engines, 200(1), 87-94. URL: <https://doi.org/10.19206/CE-199735>.