6. Гібридні та електричні силові установки: аналіз ефективності в умовах експлуатації 2025 року. *Автошляховик України*. 2025. Т. 12, № 4. С. 40–52.

7. Synthetic Fuels and Hydrogen in Road Transport: Strategic Outlook 2030 : [Electronic resource] / **IRENA Report**. URL: https://www.irena.org (date of access: 26.01.2026).

8. **Шевченко А. М.** Екологізація транспортного сектору України в контексті стандартів Євро-7. *Транспортні системи та технології* : зб. наук. пр. 2025. Вип. 45. С. 88–101.

УДК 621.436:621.43.018:662.769

ВПЛИВ НАДМАЛИХ ДОБАВОК ВОДНЮ В ПАЛИВОПРОВОДІ ВИСОКОГО ТИСКУ НА ФАЗУВАННЯ ЗГОРЯННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Шалапко Денис Олегович, канд. техн. наук, доцент,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
e-mail: shalapko.denys@gmail.com
Тарандушка Людмила Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент,
Черкаський державний технологічний університет,
e-mail: tarandushkal@ukr.net
Тарандушка Іван Павлович, викладач,
Черкаський державний технологічний університет,
e-mail: tarandushkal@ukr.net
Мельник Ольга Григорівна, викладач,
Національний університет цивільного захисту України,
e-mail: melnyk.olja.2014@gmail.com

Сучасні вимоги до транспортних і малих енергетичних дизелів пов’язані не лише зі зниженням питомої витрати палива, а й з пошуком технічно доступних шляхів удосконалення робочого процесу без складного конструктивного втручання в паливну апаратуру. Одним із таких напрямів є використання водню як малої функціональної добавки до дизельного палива [1]. На відміну від класичних двопаливних схем, у яких водень подається у впускний тракт і частково заміщує основне паливо, у даній роботі розглянуто введення надмалих кількостей водню безпосередньо в паливопровід високого тиску перед форсункою.

Такий підхід становить інтерес з практичної точки зору, оскільки дає змогу впливати на процес сумішоутворення та початкові стадії згоряння без зміни геометрії розпилювача, моменту впорскування чи загальної архітектури дизельної системи. За умов пульсуючого тиску, який формується механічною паливною апаратурою, водень може диспергуватися в потоці рідкого палива у вигляді дрібних газових включень [2]. Це, у свою чергу, здатне змінювати

ефективні фізичні властивості паливної суміші, покращувати умови розпилювання та прискорювати випаровування крапель.

Метою роботи є оцінка впливу надмалих добавок водню, поданих у паливопровід високого тиску, на характер тепловиділення, фазування згоряння та механічну навантаженість дизельного двигуна. Для цього експериментальні дослідження проводилися на одноциліндровому чотиритактному дизельному двигуні Yanmar 186F, який працював у складі дизель-генераторної установки при частоті обертання 3000 хв$^{-1}$. Водень подавався у магістраль високого тиску при двох рівнях тиску, що відповідали надмалим його концентраціям у паливній системі.

Оцінювання перебігу робочого процесу здійснювалося за індикаторними діаграмами тиску в циліндрі. На їх основі визначали видиму швидкість тепловиділення та параметри фазування згоряння CA10, CA50 і CA90 [3]. Додатково аналізували максимальний тиск у циліндрі та максимальну швидкість його наростання, оскільки саме ці показники дають змогу оцінити допустимість інтенсифікації згоряння з точки зору механічної надійності двигуна [4].

У результаті дослідження встановлено, що навіть надмалі добавки водню помітно впливають на перебіг згоряння дизельного палива. Насамперед спостерігається скорочення затримки займання та зміщення основної частини тепловиділення у бік більш ранніх кутів повороту колінчастого вала. Такий результат свідчить про покращення як фізичної стадії підготовки паливоповітряної суміші, так і початкової хімічної активації процесу окиснення.

Найбільш інформативним показником виявився параметр CA50 [5], який характеризує положення середини сумарного тепловиділення. Його зміщення у бік верхньої мертвої точки вказує на більш раціональне фазування процесу згоряння. Це створює передумови для кращого використання теплоти палива в робочому циклі та, відповідно, для підвищення ефективності двигуна. Разом із тим встановлено, що зростання частки водню супроводжується збільшенням чутливості процесу до швидкості наростання тиску. Тому межа раціонального використання таких добавок визначається не стільки максимальним тиском у циліндрі, скільки динамікою його формування на початковій стадії згоряння.

Отримані результати дають підстави розглядати введення надмалих добавок водню в паливопровід високого тиску як реальний спосіб локального вдосконалення робочого процесу дизельного двигуна. Практична цінність такого підходу полягає в можливості його реалізації на базі серійних паливних систем із мінімальним конструктивним втручанням. Це особливо важливо для малих дизель-генераторних установок, де простота модернізації, надійність і вартість технічного рішення мають вирішальне значення.

Висновки

Введення надмалих добавок водню в паливопровід високого тиску дизельного двигуна забезпечує помітний вплив на перебіг згоряння навіть за дуже низьких концентрацій газової добавки. Основний ефект проявляється у скороченні затримки займання, зміщенні основної фази тепловиділення у

більш сприятливу зону циклу та покращенні параметра CA50. Разом з тим збільшення рівня водневої добавки обмежується зростанням швидкості наростання тиску в циліндрі. Отже, використання водню в режимі мікродобавок може бути ефективним засобом підвищення досконалості робочого процесу дизеля без суттєвої зміни його конструкції.

Література

1. **Shalapko D.** Optical-graphic studies of hydrogen additives' effects on diesel fuel atomization parameters. *Transport Problems*. 2023. Vol. 18, no. 4. P. 135–146.

2. **Shalapko D. et al.** Advanced fuel system with gaseous hydrogen additives. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. 2024. Vol. 72. Article e148837.

3. **Dimitriou P., Kumar M., Tsujimura T., Suzuki Y.** Combustion and emission characteristics of a hydrogen–diesel dual fuel engine. *Energy*. 2018. Vol. 155. P. 1–13.

4. **Heywood J. B.** Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd ed. New York : McGraw-Hill, 2018. 1078 p.

5. **Lefebvre A. H., McDonell V. G.** Atomization and Sprays. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2017. 537 p.

UDC 621.6

CFD MODELING OF HYDROGEN LEAKAGE IN THE FUEL SYSTEM OF AN AIRCRAFT HYDROGEN ENGINE

Oleksii Lysytsia, Ph.D., associated professor of aerospace thermal engineering department, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", e-mail: a.lisitsa@khai.edu, ORCID: 0000-0002-5679-8459
Illia Petukhov, Ph.D., associated professor of aerospace thermal engineering department, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", e-mail: i.petukhov@khai.edu, ORCID: 0000-0002-0645-7912
Taras Mykhailenko, Ph.D., associated professor of aerospace thermal engineering department, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", e-mail: t.mykhailenko@khai.edu, ORCID: 0000-0003-4708-673X
Artem Kovalov, postgraduate, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", e-mail: a.kovalov@khai.edu, ORCID: 0000-0002-9493-9769

The use of liquid hydrogen as a fuel for aviation is an important step towards decarbonizing emissions. In addition to environmental friendliness, hydrogen has a high heat of combustion, provides high heat transfer coefficients, and its reserves as a chemical element are virtually unlimited. Along with the issues of creating economically feasible H2 technologies, technical implementation of H2 engines, on-board H2 storage and supply systems, the key problem is safety at all stages of use [1].