

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН ЯК ШЛЯХ ДО ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ У ЗЕЛЕНОМУ БУДІВНИЦТВІ

Дмитро Міщук¹, Євген Міщук¹, Максим Балака¹

*¹Київський національний університет будівництва і архітектури,
mischuk.do@knuba.edu.ua, mischuk.ieo@knuba.edu.ua,
balaka.mm@knuba.edu.ua*

Будівельна галузь є одним із найбільших споживачів енергії та джерел забруднення атмосфери. Основна частина будівельної техніки використовує дизельні двигуни, які характеризуються високими викидами вуглекислого газу, оксидів азоту та дрібнодисперсних частинок. У концепції зеленого будівництва одним із ключових напрямів є зниження вуглецевого сліду будівельних процесів.

Серед перспективних альтернатив дизельному паливу значну увагу привертає водень. На відміну від традиційних вуглеводневих палив, водень не містить вуглецю, тому при його згорянні не утворюється вуглекислий газ (CO₂).

Сьогодні найбільший дослідницький інтерес мають два напрями:

- використання водню у паливних елементах;
- використання водню у двигунах внутрішнього згорання (Hydrogen ICE).

Для будівельної техніки другий варіант є особливо перспективним, оскільки дозволяє адаптувати існуючі конструкції двигунів без повної заміни силової установки.

За останні роки у базах значно зросла кількість досліджень, присвячених водневим двигунам внутрішнього згорання. У роботах польських та європейських дослідників зазначається, що Hydrogen ICE може забезпечити швидку декарбонізацію важкої техніки без радикальної зміни виробничої інфраструктури.

У дослідженні [1, 2] показано, що сучасні водневі двигуни мають:

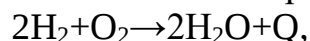
- високу швидкість згорання палива;
- широкий діапазон займання;
- можливість роботи на збіднених сумішах;
- низький рівень викидів CO₂.

Водночас головною проблемою залишається утворення оксидів азоту через високі температури згорання водню. Для зменшення NO_x використовують рециркуляцію вихлопних газів, збіднені паливні суміші, багатоточкове впорскування водню.

У роботі британських дослідників для будівельної техніки показано, що низькоемісійні водневі двигуни можуть значно зменшити екологічне навантаження у сегменті off-road machinery, до якого належать екскаватори,

навантажувачі та бульдозери.

Реакцію згоряння водню можна описати рівнянням:



де Q – теплова енергія.

Основною перевагою такого процесу є відсутність утворення вуглекислого газу. Продуктом реакції є водяна пара. Однак через високу температуру полум'я утворюються оксиди азоту, хоча їхня кількість значно менша порівняно з дизельними двигунами.

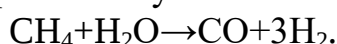
Важливою перевагою Hydrogen ICE є можливість модернізації існуючих двигунів. Це особливо актуально для будівельної техніки, де повна електрифікація є складною. На відміну від акумуляторних систем, водневі двигуни забезпечують швидке заправлення та більший запас енергії на одиницю маси палива.

Однією з головних проблем використання водню є низька загальна енергетична ефективність повного циклу його виробництва та використання. Водень не є первинним джерелом енергії. Для його отримання необхідно витратити енергію на електроліз води, компресію, транспортування, зберігання.

Найбільш екологічним є «зелений водень», який виробляється методом електролізу з використанням відновлюваних джерел енергії. Однак ефективність електролізу зазвичай становить близько 65–75%. Далі виникають додаткові втрати, а саме компресія водню – близько 10–15%, транспортування та зберігання – 5–10%. Сумарна ефективність циклу «електроенергія → водень → механічна енергія» з урахуванням ефективності двигунів внутрішнього згоряння може бути меншою за 30%. Це значно нижче ефективності акумуляторних електричних систем. Саме тому багато дослідників вважають водневі двигуни проміжною технологією.

Особливо важливим є питання походження енергії для виробництва водню. На сьогодні близько 90 % водню у світі виробляється з природного газу методом парової конверсії метану. У такому випадку фактично відбувається непряме використання викопного палива, а екологічний ефект суттєво зменшується.

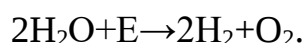
Реакція парової конверсії метану:



У процесі також утворюється CO_2 , що частково нівелює переваги водневих технологій.

Однією з популярних ідей є отримання водню безпосередньо на борту машини шляхом електролізу води. Теоретично це можливо, але з точки зору термодинаміки така система не може бути повністю автономною.

Для розкладання води необхідно затратити енергію:



Відповідно до закону збереження енергії, отримати більше енергії при спалюванні водню, ніж було витрачено на його виробництво, неможливо. Через втрати у генераторі, електролізері та двигуні система матиме від’ємний енергетичний баланс. Тому концепція «двигуна, який сам виробляє для себе водень» у замкненому циклі є фізично неможливою. Водень може лише частково вироблятися на борту як допоміжна добавка до основного палива. Такі системи ННО-генераторів іноді використовуються для покращення згоряння дизельного палива, зменшення витрати пального, зниження димності вихлопу. Проте більшість наукових досліджень показують, що ефект від таких систем є обмеженим і не дозволяє створити енергетично автономний двигун.

На основі аналізу сучасних досліджень можна зробити такі висновки:

- водневі двигуни внутрішнього згоряння є перспективною технологією для декарбонізації будівельної техніки;
- основною перевагою водню є практично повна відсутність викидів CO₂ під час роботи двигуна;
- використання водню, виробленого з природного газу, не забезпечує повної екологічності технології;
- створення двигуна, який повністю забезпечує себе воднем без зовнішніх джерел енергії, суперечить законам термодинаміки та є неможливим у замкненій системі;
- найбільш перспективним є використання «зеленого водню», отриманого за допомогою відновлюваних джерел енергії.

Таким чином, водневі двигуни можуть стати важливим етапом переходу будівельної галузі до низьковуглецевих технологій, однак їх ефективність напряму залежить від способу виробництва водню та розвитку відповідної енергетичної інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wróbel K., Wróbel J., Tokarz W., Lach J., Podsadni K., Czerwiński A. Hydrogen Internal Combustion Engine Vehicles: A Review. *Energies*, 15(23), 2022. 8937 p. <https://doi.org/10.3390/en15238937>.
2. Оленіч Г.С., Міщук Д.О., Балака М.М. Зниження витрат пального автомобільним транспортом за рахунок застосування генератора водню. *Resource and Energy Saving Technologies and Materials. Contemporary Innovation Technique of the Engineering Personnel Training for the Mining and Transport Industry (CITEPTMTI 2022)*, 2022. С. 61-65.
3. Webster L.J., Ballard R., Beamish T., Burnhope T., Humbert J., Lewis A. C., Piaszyk J., Moller S.J. Evaluating low NO_x hydrogen engines designed for off-road and construction applications. *Environmental Science: Processes Impacts*, 27, 2025. 486-497 p. <https://doi.org/10.1039/d4em00448e>