

С.В. Єнчев, д.т.н.¹, М.В. Остапчук, к.т.н.^{1,2}
¹(Національний авіаційний університет, Україна
²Інститут газу НАН України, Україна)

Воднева енергетика: огляд сучасних плазмових технологій та майбутні перспективи для використання на транспорті

Досліджені шляхи отримання водню та підвищення енергетичної ефективності процесів переробки небезпечних відходів, маючи на увазі реалізацію принципу «Waste-to-Energy» («відходи - в енергію»).

Сьогодні паливно-енергетична та екологічна проблеми набувають все більшу актуальність і масштабність. У найближчі десятиліття збільшення енерговиробництва тільки за рахунок органічних палив неможливо, оскільки їх запаси обмежені. Одним із перспективних носіїв в даний час є водень (у рідкому і газоподібному стані).

Воднева енергетика зростає як важливий напрямок у розвитку технологій чистої енергії, особливо в сфері транспорту. Водень може бути використаний у різних формах для забезпечення енергії для автомобілів, автобусів, вантажівок і навіть літаків.

Водень відповідає багатьом вимогам, що пред'являються до палив. Він є екологічно чистим видом палива. По відношенню до бензину водень має в 3 рази більшу теплотворну здатність, в 13-14 раз меншу енергію запалювання і те, що суттєво важливо для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), більш широкі межі запалювання паливно-повітряної суміші [1]. Така значна повнота згоряння дозволяє підвищити ефективність двигунів, зменшити питомі витрати палива, зменшити масу і габарити двигуна.

В той самий час до недоліків водню як палива в чистому вигляді можна віднести падіння потужності ДВЗ в порівнянні з бензиновим аналогом. Дуже «жорсткий» процес згоряння воднево-повітряних сумішей в області стехіометричного складу приводить до детонації на режимах високих навантажень. Ця особливість водневого палива потребує значних змін конструкції ДВЗ [1, 2].

З методами відновлювано-водневої енергетики та паливно-комірчанних технологій пов'язані технології переробки небезпечних відходів. На сьогодні практично є забороненими популярні колись методи спалювання будь-яких відходів, небезпечних – зокрема. Справа в тому, що в такому випадку локальні забруднення земної поверхні перетворюються в забруднення токсичними речовинами атмосферного повітря, які можуть охоплювати значні території. Тому серед вогневих методів нині найбільш поширеними є високотемпературні, для яких характерною є газифікація вуглецевмісних відходів з утворенням водню в продуктах газифікації. А також вода або водяна пара, яка є одним з найбільш чистих реагентів у процесах газифікації, також є одним з джерел утворення водневої компоненти.

Крім того, для гарантованого підтримання процесу газифікації в пропонувані технології застосовуються пароводяні плазмотрони, потужність яких може перевищувати сотню кВт. Найбільш доцільно використовувати для їхнього живлення електричну енергію, яка виробляється у процесі переробки відходів за рахунок спалювання частини продуктів газифікації в газодизельних електростанціях чи з використанням парових турбін. Оскільки ККД таких технологій генерування електричної енергії на сьогодні не перевищує 30%, то перспективним є використання для потреб енергетичного самозабезпечення таких установок паливних елементів, які мають істотно вищий ККД, ніж згадані вище джерела електричної енергії [3].

Винятковою перевагою плазмових технологій газифікації відходів є високі термодинамічні параметри процесу. Тому тут не має обмежень щодо якості вуглецевої сировини, що газифікується. Ця перевага дозволяє також переробляти навіть найнебезпечніші хлоровмісні відходи.

Для України, як і багатьох інших країн світу, характерні значні обсяги дуже складного для переробки представника небезпечних відходів – донних мулів (ДМ), забруднених важкими металами. Джерелом походження, яких стали стоки гальванічних та радіотехнічних виробництв, які без належного очищення скидалися у міські каналізації у 70-80-х рр. Наприклад, лише на Бортницькій станції аерації (БСА) м. Києва таких відходів накопичено близько 9 млн. т. Вони знаходяться на мулових полях, захищених дамбами заввишки до 10 м, сумарна площа яких становить 272 га. Хімічний аналіз ДМ свідчить, що вони мають високий вміст вуглецю. Справді, їх склад у перерахунку на суху беззольну масу має такий вигляд: 35,4-87,8 С; 4,5-8,7 Н; 0,2-2,7 S; 1,8-8,0 N; 7,6-35,4 О [4].

В останні десятиліття загальноновизнаним стало технологічне рішення, яке передбачає так звану вітрифікацію зольного залишку після термічної переробки донних мулів [5]. Вона включає рідке шлаковидалення в процесі термічної переробки відходів. Важкі метали залишаються інкорпорованими в лавоподібній масі цього розплаву та після його охолодження втрачають властивість вилугуватися в навколишнє середовище. Отримані гранули перестають бути екологічно небезпечними і можуть використовуватися, наприклад, для відсіпання доріг. Для процесу вітрифікації потрібен рівень температур понад 1400 °С.

Узагалі кажучи, в західній науковій літературі представлені цілі пласти публікацій з переробки донних мулів, починаючи з 70-х рр. минулого століття, коли почалася наукова розробка цієї проблеми. Загальний підхід до цих та інших відходів переробки на Заході полягає в реалізації принципу «Waste-to-Energy» («відходи - в енергію»). Оскільки оптимальні рівні температури переробки відходів (≥ 1100 °С для хлоровмісних і ≥ 1400 °С для донних мулів) є також оптимальними для проведення процесів газифікації твердих палив [6], то логіка розвитку технологій переробки небезпечних відходів полягає в тому, щоб, з одного боку, здійснювати її в режимах, наближених до газифікації, а з іншого - організувати цей процес таким чином, щоб небезпечні складові відходів перевести в стан, в якому вони є нейтральними по відношенню до навколишнього середовища. Якщо дотримуватися принципу «відходи - в енергію», отримуючи, наприклад, надлишкову по відношенню до власних

потреб електричну енергію, то процес може стати комерційно привабливим (див. Рис.1).

Ключовим питанням, яке досліджується, є досягнення максимальної енергетичної ефективності процесу газифікації змішаних необроблених органічних відходів. Ідея сумісної газифікації відходів є ключовим елементом вирішення цього питання. Сумісна газифікація або повна енергетична газифікація дозволяє компенсувати високу зольність одного виду сировини високою теплотворною здатністю іншого. Необхідно підкреслити, що енергоефективність процесу газифікації, а також кінцева вартість одного з компонентів синтез-газу – водню, який буде цільовим продуктом водневої енергетики, повністю відповідає діяльності нової глобальної коаліції Clean Hydrogen Mission, створеної 22 країнами та Європейською комісією у червні 2021 року для підтримки чистої водневої економіки [7].



Рис. 1. Виробництво водню на основі плазмово-пароокисневого газифікації небезпечної відновлюваної сировини

Воднева енергетика має великий потенціал для трансформації транспортного сектора завдяки своїй екологічності і ефективності. Застосовуючи принцип «Waste-to-Energy» («відходи - в енергію») можна зменшити обсяг небезпечних відходів на звалищах і збільшити виробництво енергії з відновлювальних джерел. Очікується, що з розвитком плазмових технологій і масштабним виробництвом вартість отримання "зеленого" водню (отриманого з відновлювальних джерел) зменшиться. Різні авіаційні компанії і автомобільні виробники вже тестують прототипи водневих транспортних засобів і систем. Це включає як легкові автомобілі, так і великогабаритні транспортні засоби та літаки. Airbus і Boeing активно працюють над концепціями рідкого водню як альтернативного пального для авіації. Цей підхід може суттєво зменшити викиди вуглецю і забезпечити екологічно чисте майбутнє для комерційної авіації.

Список літератури

1. Раменский А.Ю., Шелищ П.Б., Нефедкин С.И. Применение водорода в качестве моторного топлива для автомобильных двигателей внутреннего сгорания. История, настоящее, и перспективы // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2006. -№11(43). – С.63-70
2. Галышев Ю.В. Анализ перспективы создания водородных двигателей //Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2005. -№2(22). – С.19-23
3. Жовтянский В.А., Остапчук М.В. Плазменные технологии в проблеме получения «более чем зеленого водорода» // Горение и плазмохимия. – 2022. – 20 (№ 1). – С. 11 – 32. [https:// doi.org/10.18321/cpc478](https://doi.org/10.18321/cpc478)
4. Бондар А.І., Лозовицький П.С., Машков О.А., Лозовицький А.П. Екологічний стан накопичених осадів стічних вод м. Києва // Екологічні науки. – 2015. – Т.7. – С.38–53.
5. Cedzynska K., Kolacinski Z., Izydorczyk M., Sroczynski W. Plasma vitrification of waste incinerator ashes. International Ash Utilization Symposium. Centre for Applied Energy Research, University of Kentucky, 1999.
6. Шиллинг Г., Бонн Б., Краус У. Газификация угля. Пер. с нем. и ред. Исламова С.Р. М.: Недра, 1986. – 175 с.
7. Mission Innovation launches a new global coalition to support the clean hydrogen economy – Режим доступу: https://ec.europa.eu/info/news/mission-innovation-launches-new-global-coalition-support-clean-hydrogen-economy-2021-jun-02_en#:~:text=The%20goal%20of%20the%20Clean,scale%20integrated%20hydrogen%20valleys%20worldwide