

УДК 621.316

Маламан Д.О.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАНУ

Анотація. У статті представлено результати досліджень режимів роботи обладнання та схеми управління процесами використання метану водневої енергетики, що дозволяє забезпечити максимальний рівень ККД опалення в побуті, також високу екологічність та економити використання природних ресурсів..

Ключові слова: воднева енергетика, схеми управління.

Annotation. The article presents the results of research on the modes of operation of equipment and control schemes for the use of methane in hydrogen energy, which allows to ensure the maximum level of heating efficiency in the home, as well as high environmental friendliness and save the use of natural resources.

Keywords: methane energy, control schemes.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є огляд актуальності водневої енергетики, виведення водню завдяки метану і прикладний розгляд експлуатації в енергетиці. Розгляд плюсів та мінусів.

Водень – це легкий газ, який при спалюванні дає тепло, що у кілька разів перевищує тепло від використання газу. Головною його перевагою при використанні в опалювальній системі є невелика температура горіння (всього 300°C). Це дозволяє використовувати газ у казані, виконаному з традиційних недорогих видів металу. Газ не має кольору та запаху, а при поєднанні з іншими хімічними компонентами він не утворює небезпечних токсинів, шкідливих для здоров'я людини. Охолоджений до рідкого стану водень займає 1/700 обсяг газоподібного стану. Водень при поєднанні з киснем має найвищий вміст енергії на одиницю маси: 120.7 ГДж/т.

Нині у світі більшість виробленого у промисловому масштабі водню виходить у процесі парової конверсії метану (ПКМ). Пар і теплова енергія при температурах 750-850°C потрібні, щоб відокремити водень від вуглецевої основи метану, що відбувається в хімічних парових реформерах на каталітичних поверхнях. Перший ступінь процесу ПКМ розщеплює метан та водяну пару на водень та монооксид вуглецю. Після цього на другому ступені «реакція зсуву» перетворює монооксид вуглецю та воду на діоксид вуглецю та водень. Ця реакція відбувається за температури 200-250°C.

Серед переваг, що дозволяють використовувати цей вид опалення в побуті, є такі показники:

- Абсолютна екологічність - продукти розпаду води (водень, кисень та пара, не впливають на стан здоров'я навіть у процесі горіння).
- Максимальний рівень ККД, що досягає 96%, це набагато вище від того ж вугілля, дизеля або природного газу.
- Використання водню як альтернативного джерела енергоресурсів дозволяє значно економити запаси природних ресурсів, що вичерпуються, знижуючи їх видобуток у кілька разів.
- Невисока вартість – для опалення житлових будинків вартість системи незначна, а простота роботи, що базується на примітивній хімічній реакції електролізу, дозволяє зібрати систему своїми руками.

З недоліків можна виділити лише два показники:

1. Необхідність щорічної заміни металевих пластин - це необхідно для того, щоб електроліз відбувся з максимально високим рівнем вироблення водню.
2. Дороге обладнання - купівля заводської установки обійдеться в середньому близько 15-20 тис гривень. Технічні характеристики водневих установок наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики водневих установок

Параметр	Генератор водню GHS HyProvide	Генератор водню PIEL
Продуктивність	30/60/90 Нм ³ /год	1,10 Нм ³ /год
Тиск	До 35 бар	3,8 бар
Чистота водню	До 99,999%	До 99,995%
Витрата електроенергії	4,7 кВт/год м ³	6,2 кВт/ год м ³
Діапазон регулювання	25..100%	60..100%
Передача даних	Ethernet/Can-bus	ні
Контейнерне виконання	опція	опція

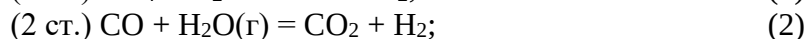
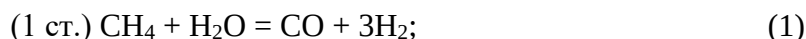
Охарактеризуємо властивості елемента водневих установок для його застосування:

- 1) Горіння водню - процес екологічно чистий, жодних шкідливих речовин не виділяється.
- 2) Завдяки хімічній активності газ у вільному вигляді Землі не зустрічається. У складі метану його запаси невичерпні.
- 3) Елемент видобувається у промисловому виробництві хімічним способом, наприклад, у процесі газифікації (піролізу) кам'яного вугілля. Найчастіше є побічним продуктом.
- 4) Інший спосіб одержання газоподібного водню з метану - взаємодія його з водяною парою.

Проведення реакції:

Процес відокремлення водню від вуглецевої основи в метані протікає у трубчастих печах (хімічних парових реформерах) при зовнішньому підведенні теплоти при температурах 750-850 оС через стінку труби на каталітичних поверхнях (нікель, корунд та ін.).

Основні реакції процесу, парової конверсії метану (технологія отримання Н₂):

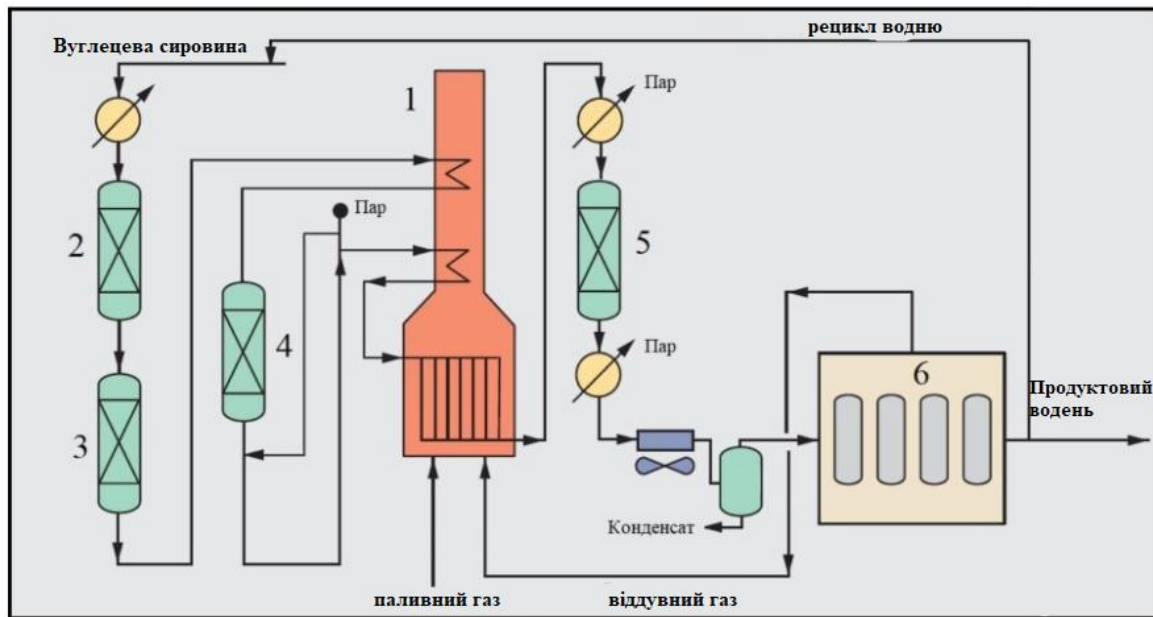


Перший крок реакції розщеплює метан та водяну пару на водень та монооксид вуглецю (синтез-газ). Після цього «реакція зсуву» перетворює монооксид вуглецю та воду в діоксид вуглецю та водень. Ця реакція відбувається при температурах 200-250°С.

Виробництво водню здійснюється в основному шляхом парової конверсії природного газу - метану. При цьому для реалізації ендотермічного процесу парової конверсії метану спалюється близько половини вихідного газу. Для економії природного газу та виключення викидів продуктів спалювання в навколишнє середовище пропонується технологія парової конверсії метану з підведенням тепла від високотемпературного газоохолоджувального реактора. Створення тандему

«високотемпературний газоохолодний реактор - парова конверсія метану» у вигляді атомного енерготехнологічного комплексу відкриває шлях великомасштабного екологічно чистого виробництва водню.

До особливостей високотемпературних газоохолоджуваних реакторів, стимулюючим їх застосування як енергоджерела при конверсії природного газу водень, відносять можливість генерації високотемпературного тепла, що передається в технологічний процес, модульну конструкцію реактора, високий рівень безпеки і маневреності, рис. 1.



Принципова схема установки виробництва водню методом парової конверсії
1 - під риформінгу; 2 - реактор гідрообессерювання; 3- адсорбери; 4 - реактор предриформінгу;
5 - реактор конверсії CO; 6 - блок адсорбції (КЦА)

Рисунок 1 – Технологічна схема установки отримання водню

Атомна енерготехнологічна станція тепловою потужністю 2400 МВт, що складається з чотирьох модульних високотемпературних газоохолоджуваних реакторів по 600 МВт кожен, здатна забезпечити в процесі парової конверсії метану виробництво понад 0,8 млн т водню на рік з 2600 млн Нм³ природного газу.

Парова конверсія метану є сьогодні основним промислово освоєним і пристосованим для першого етапу впровадження технологій виробництва водню (разом з ВТГР) процесом.

На ньому засновано існуюче світове виробництво водню. Поєднання ВТГР та ПКМ дозволяє приблизно на 40% знизити споживання природного газу, а отже, і витрати, необхідні для виробництва водню. Економічна ефективність застосування ПКМ визначається ціною на газ та температурою споживаного тепла. Необхідна температура нагрівання парогазової суміші має бути не нижче 800 °С, причому подальше підвищення температури на ефективність процесу практично не впливає, рис. 2.

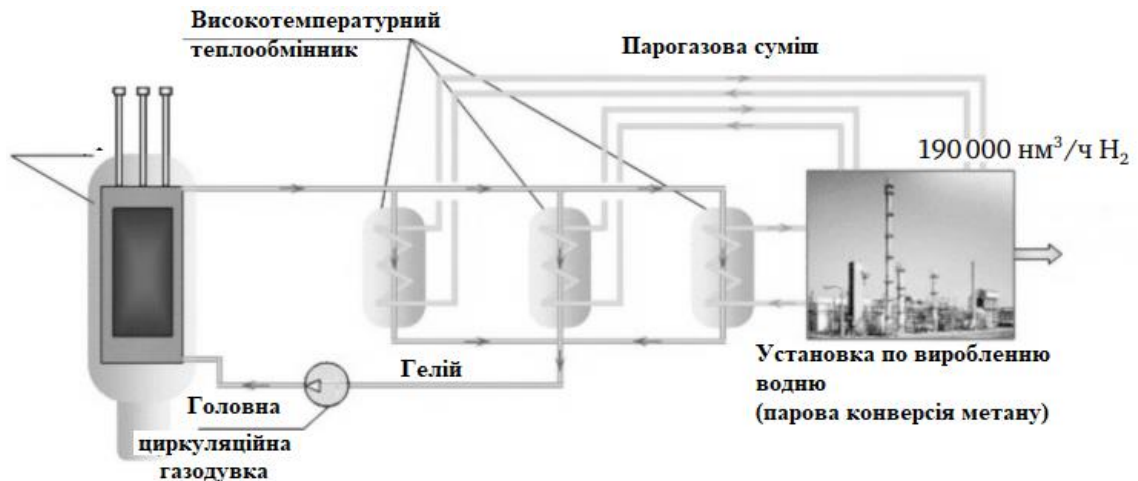


Рисунок 2 – Принципова схема реактора МГР-100 ПКМ

Теплова енергія відводиться від реактора до робочого середовища другого контуру (парогазової суміші) у високотемпературних теплообмінниках (СОТ), які є складовою частиною термоконверсійного апарату (ТКА). Реалізація конверсії метану ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} (\text{пар}) + \text{тепло} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$) відбувається у ТКА за тріступінчастою схемою. Парогазова суміш (пар - 83,5%, CH_4 - 16,5%) подається послідовно в три ступені

ТКА1, ТКА2 та ТКА3. Це визначає конфігурацію теплопередаючого блоку РУ.

Він складається з трьох окремих високотемпературних теплообмінників СОТ 1, СОТ 2, СОТ 3 (рис. 4), що представляють окремі шаблі (секції) блоку. Розташування секцій СОТ по ходу теплоносія першого контури - паралельне, по ходу парогазової суміші - послідовне.

Після ТКА3 парогазова суміш (пар - 55%, CH_4 , H_2 , CO , CO_2 - 45%) з великою концентрацією водню послідовно проходить блок очищення від CO_2 і H_2O і прямує до блоку відділення водню. Поворотна фракція і природний газ змішуються з перегрітою парою і потім прямують до ТКА.

Циркуляція гелію у першому контурі здійснюється ГЦГ, парогазової суміші – компресорами.

Основні параметри установки наведено у табл. 5.4. Температура гелію на виході із реактора становить 950 °С. Залежно від типу компонування (петльової або блокової) основного обладнання РУ, конфігурація теплопередаючого блоку може бути різною. У блоковій компоновці основне обладнання РУ з'єднується за допомогою коротких патрубків типу «труба в трубі», до складу теплопередаючого блоку доцільно включити ГЦГ.

Ми отримуємо такі перспективи:

- підвищена безпека (у модульному виконанні (типу ГТ-МГР) вони витримують аварії із втратою теплоносія, оскільки кільцева конфігурація активної зони шляхом теплопровідності забезпечує пасивне відведення залишкового тепла у довкілля без перевищення допустимих температур)

- гарантії нерозповсюдження (особливості конструкції палива, захищеного багаточаровими керамічними покриттями та використання як паливо урану низького збагачення (не більше 20%) сприяють захисту від поширення матеріалів, що діляться свіжого палива. Ризик поширення матеріалів, що діляться, з ВЯП практично зводиться до нуля завдяки дуже глибокому вигорянню вихідного матеріалу.)

При використанні парової конверсії метану у поєднанні з ВТГР необхідна теплова

потужність ВТГР становить 5 млн т водню близько 6,5 ГВт. У перспективі, коли вартість природного газу підвищуватиметься, частка водню, що виробляється з води, може бути доведена до 100% з допомогою замикання циклу відновлення метану з проміжного продукту — метанолу, з допомогою електроенергії.

Висновки. Безумовно, поки що частка водневої енергетики відносно невелика. Та й сам водень сьогодні не так паливо, як сировина для виробництва аміаку та метанолу. Проте стан речей змінюється і не виключено, що вже в середньостроковій перспективі водень зможе замінити природний газ.

Зокрема, у Японії вже розпочалося створення глобальної мережі виробництва водню для енергетичних установок. Причому його транспортування у рідкому вигляді країні знадобиться близько 80 танкерів. У 2019 році в австралійському місті Гастінгсі розпочато будівництво спеціального водневого терміналу.

Всі ці факти свідчать, що високий потенціал водневої енергетики свідчать як прогнози аналітиків, а й інвестиції великих корпорацій. А це означає, що традиційним енергоносіям рано чи пізно доведеться поступитися своїм місцем на п'єдесталі.

Список використаних джерел

1. Р. В. Радченко А. С. Мокрушин В. В. Тюльпа «Водород в энергетике» <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/30843/1/978-5-7996-1316-7.pdf>
2. Г.Н. Волощенко, В.П. Пахомов, Н.Н. Пономарев – Степной <http://electricalschool.info/main/drugoe/147-vidy-jelektricheskoy-zashhity.html>
3. Атомный энерготехнологический комплекс с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами для масштабного экологически чистого производства водорода из воды и природного газа <https://cyberleninka.ru/article/n/atomnyy-energotehnologicheskyy-kompleks-s-vysokotemperaturnymi-gazoozhlazhdaemyimi-reaktorami-dlya-masshtabnogo-ekologicheskogo>
4. Водород и водородная энергетика <https://metallolome.ru/vodorod-i-vodorodnaya-energetika/>
5. Атомно-водневая энергетика – шляхи розвитку. https://www-rosteplo-ru.translate.goog/Tech_stat/stat_shablon.php?id=216&p=2&x_tr_sl=ru&x_tr_tl=uk&x_tr_hl=ru&x_tr_pto=wapp
6. Водневая энергетика, коли настане майбутнє? https://voltobzor-ru.translate.goog/poleznye-statii/plyusy-i-minusy-vodorodnoj-energetiki-kogda-nastupit-budushhee?x_tr_sl=ru&x_tr_tl=uk&x_tr_hl=ru&x_tr_pto=wapp#i-4

Науковий керівник ст. викладач Дубовик В.Г.