

УДК 621.311:502.5

В.В. Пилипенко, І.В. Ночніченко, О.Ф. Луговський, Д.В. Костюк  
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
 інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

### Виробництво водню із застосуванням модуля ультразвукового розпилювача в методі високотемпературного електролізу водяної пари

Нині стрімко розвивається галузь водневої енергетики. Виробництво водню здатне задовільнити більшу частину енергетичних потреб людства за достатніх потужностей. Його в основному виробляють з викопних видів палива (природний газ, нафта і вугілля), але при отриманні водню з будь-якої сировини, що містить вуглець (спирти, піроліз біомаси), виникає проблема парникових газів, тому екологічно чистими дані способи вже назвати не можна. Велика кількість дослідників намагається вдосконалити процес добування водню, аби зробити його максимально ефективним для перетворення надалі в електроенергію [1-9].

За останній час, паралельно з удосконаленими традиційними методами електролізу з лужними електролітами й азбестовою діафрагмою, визначилися декілька нових напрямлень в розвитку процесу електролізу води. Одним з яких є високотемпературний електроліз водяної пари. Саме цей метод і став об'єктом нашого дослідження. У цій статті розглянуті різні методи добування водню (табл. 1), порівнюючи які можна зробити висновки щодо перспективності обраного способу, наскільки доцільно його застосовувати (вартість, екологічна безпека).

Основні методи отримання водню

Таблиця 1

Джерело енергії	Викопні палива		Ядерна енергія		Відновлювальні джерела	
					Сонячна фотогальваніка	Вітер
Сировина	Природний газ	Вугілля	Вода		Вода	Біомаса
	Вода	Кисень				
Метод	Парова конверсія	Газифікація	Термохімічна дисоціація води	Високотемпературний електроліз	Електроліз	Газифікація
	Очищення від вуглецю та його утилізація				Очищення від вуглецю та його утилізація	
			Водень			

Виробництво водню з вуглецевої сировини. Прикладом такої сировини можуть бути кам'яне та буре вугілля, нафта, природний газ. Використовується поєднання 3-4 методів у одному. Подібним цьому способу є також метод отримання водню на основі парової конверсії вугілля. Вони не є екологічно чистими, оскільки в їхніх процесах виділяється велика кількість вуглекислого та сірчистого газів. Вартість є найнижчою, на відміну від усіх інших методів, тому ці методи є досить затребуваними.

Виробництво водню з біомаси. Гідроген може бути отриманим з біомаси шляхом піролізу. Цей процес є модифікацією газифікації вугілля. Відрізняється лише установкою попередньої обробки біомаси та конструкцією реактора. Завдяки помітно меншій енергоємності біомаси на одиницю маси порівняно з вугіллям розмір газифікатора біомаси має більші розміри, ніж установка газифікації вугілля.

Безкисневе отримання водню з вуглеводнів. Даний метод є різновидом каталітичного піролізу. У продуктах реакції вміст оксидів вуглецю є надмалим, якщо реактор достатньо герметичний і працює за підвищеного тиску. Фактично виробляється лише водень і сажа. Правильно підібравши каталізатор і параметри процесу, замість сажі реально отримати багатостінні вуглецеві нанотрубки, хоч і забруднені каталізатором, на поверхні якого вони формуються.

Електроліз води або пари за різних температур може призводити до розкладу її на водень та кисень. Це випробувана й комерційно реалізована технологія отримання водню. Недоліком цього способу є велике енергоспоживання, що зумовлює високу вартість процесу. Саме тому більш перспективним є метод високотемпературного електролізу водяної пари. Він проводиться в осередках з твердим електролітом на основі оксидів цирконію, модифікованих добавками 10-15% оксидів деяких елементів (кальцію, ітрію, ітербію, селену, ванадію) для підвищення його електропровідності. Подібний електроліт має уніполярну провідність. Струм через нього переноситься йонами кисню, що утворюється при дисоціації води та виділенні водню на катоді. Отримана завдяки тепловій машині електрична енергія становить лише частину енергії, що витрачається на розклад води. Це значно знижує непродуктивні втрати енергії та робить виробництво водню дешевшим.

Розглянемо принципову схему осередку для високотемпературного електролізу водяної пари з коаксіальним розташуванням електродів, його склад та принцип роботи.

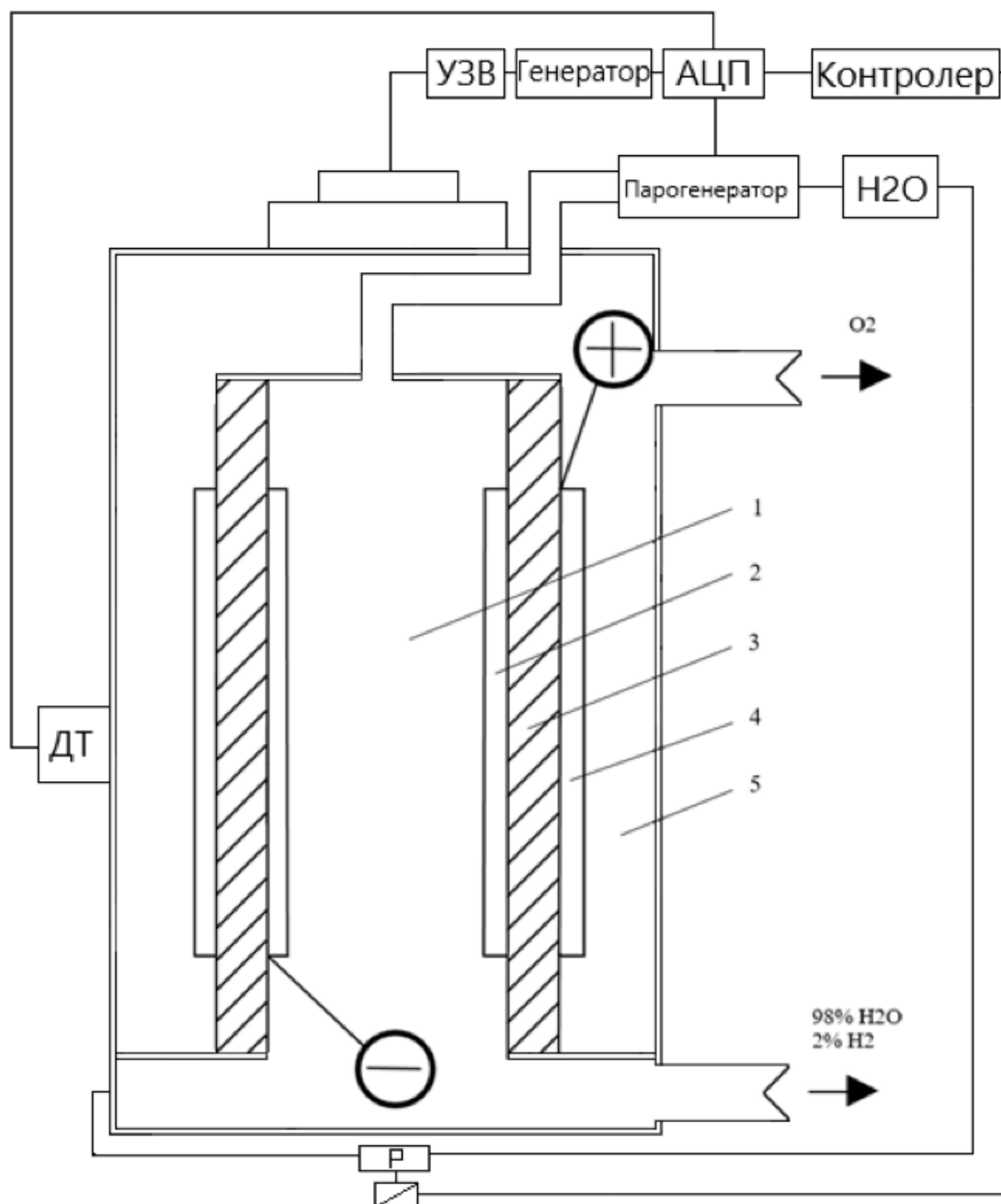
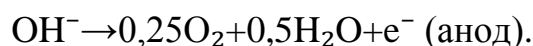
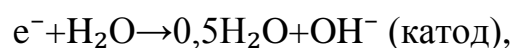


Рис.2. Схема осередку для високотемпературного електролізу водяної пари з коаксіальним розташуванням електродів: 1 – катодний простір; 2 – катод; 3 – твердий електроліт на основі оксидів цирконію; 4 – анод; 5 – анодний простір (УЗВ – ультразвуковий розпилювач; Р – розподільник; ДТ – датчик температури; АЦП – аналого-цифровий перетворювач)

Реакційна схема високотемпературного електролізу водяної пари зворотна процесу в твердооксидних паливних елементах. Контролер керує подачею пару та роботою ультразвукового розпилювача. Молекули водяної пари дисоціюють на пористому катоді, утворюючи суміш  $\text{H}_2\text{O}$  з  $\text{H}_2$ , тоді як іони кисню проходять через непористий, іонопровідний твердий електроліт до пористого аноду, де рекомбінують до молекули кисню. У такий спосіб водень і кисень автоматично розділяються твердооксидною мембраною. При суміщенні високотемпературного електролізу водяної пари з різними типами ядерних реакторів, що забезпечують високі температури цього процесу, можемо мати високий рівень загальної ефективності процесу з ККД > 45%. Кераміка в електролізері слугує провідником іонів кисню та діє як мембрана й електроліт одночасно. На електродах електролізера відбуваються такі реакції:



Доцільно використовувати даний спосіб за високих температур (150-300°C), при цьому підвищується активність електродів, знижується катодне й анодне перенапруження. Також можна збільшити густину струму та відповідно понизити втрати, пов'язані з поляризацією, що призведе до збільшення ефективності цього процесу. Теоретична величина потенціалу розкладу водяної пари може бути знижена, якщо на аноді здійснити деполяризацію. Щоб позбутися проблеми корозії, матеріали слід виготовляти з кераміки.

Переваги запропонованого методу: невеликі втрати опору та відсутність перенапруження електролітом. Саме використання водню є досконалим: його можна зберігати в газоподібному, рідкому й у формі гібридів металів, що легко руйнуються; можна транспортувати по газопроводам і танкерам; це паливо можна легко перетворювати в інші форми енергії та сировини.

У якості основного недоліку виступає високе капіталовкладення. Технічні труднощі пов'язані з утворенням суміші водню й водяної пари, але вона може бути розділеною шляхом охолодження та конденсації. Існують також проблеми з вибором матеріалів для роботи за високих температур.

Таким чином, у результаті проведеного дослідження було з'ясовано: з усіх методів електролізу найбільш перспективним вважається високотемпературний електроліз (собівартість водню 0,19-0,4 €/м<sup>3</sup>); його енергетична ефективність досягає 60-70%; витрати електроенергії складають 5,5 (кВт\*год)/м водню, де до

90% собівартості становить енергія; з точки зору екології електроліз відносно чистий і безвідходний метод, хоча не варто забувати про виділення у великих кількостях вуглекислого газу; до 76% виробленого водню використовують у нафтопереробній промисловості (гідрознесірчення, гідрування), для синтезу різних хімічних сполук (виробництво аміаку та метанолу до 19% водню), у металургійних процесах (у якості відновлювального середовища), а також у ракетній техніці.

#### Список використаних джерел

1. Шпильрайн Э.Э. Введение в водородную энергетику - М.: Энергоатомиздат 1984. -264 с.
2. <https://techxplore.com/news/2020-01-instant-hydrogen-production-powering-fuel.html>
3. <https://scienceland.info/chemistry8/hydrogen3>
4. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. - М.: Химия, 1989.
5. <https://smartprogress.do/goal/12312/?lang=uk>
6. Якименко Л.М., Модылевская И.Д., Ткачек З.А. Электролиз воды издательство Химия. Москва. 1970. -264с.
7. Бородатый Ю. Необходимое из ненужного//Конструктор. – 2001. – №6. – С.31.
8. Орлов Ю. Водогорелка//Моделист-Конструктор. – 1985. – №10.
9. Лидоренко Н.С., Мучник Г.Ф. Электрохимические генераторы. М.: Энергоиздат, 1982. – 448 стр.