ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 661.961

DOI: 10.34708/GSTOU.2021.14.22.004

ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ВОДЫ ИЗ ПОЛИМЕРНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ МЕМБРАНЫ (ПЭМ)

© Ю. Х. Тарамов, Р. И. Ахъядов, А. А. Эльмурзаев

ГГНТУ имени акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

В современном мире с ростом населения и уровня жизни потребление энергии постепенно увеличивается. Наряду с этим, с усилением глобального потепления и загрязнения окружающей среды становится все более важным развитие альтернативных источников энергии. Одним из таких источников глобальной энергии является водород. Водород является одним из наиболее многообещающих экологически чистых и устойчивых энергоносителей, и в качестве побочного продукта он выделяет только воду, без каких-либо выбросов углерода. Неуклонно растущие глобальные потребности в энергии и ограниченные запасы ископаемого топлива вместе с устойчивостью и воздействием на окружающую среду требуют разработки новых энергетических подходов без каких-либо выбросов углерода и негативных веществ. Среди многих методов производства водорода экологически чистый водород высокой чистоты (99,9%) можно получить путем электролиза воды для получения чистого водорода и кислорода.

Ключевые слова: Альтернативная энергетика, водород, кислород, вода, энергоэффективность, электролиз.

В данной статье речь пойдет о водороде. Водород является одним из наиболее многообещающих экологически чистых и устойчивых энергоносителей, и в качестве побочного продукта он выделяет только воду, без каких-либо выбросов углерода. Водород обладает многими привлекательными свойствами и большим запасом энергии. Существуют различные методы и способы получения водорода из возобновляемых и невозобновляемых источников энергии. В основном для промышленного получения водорода применяют паровой риформинг метана. Однако при использовании метана для получения водорода производимый энергоноситель получается более низкой чистоты и с высокой концентрацией вредных примесей. Кроме того, неуклонно растущие глобальные потребности в энергии и ограниченные запасы ископаемо-

го топлива вместе с устойчивостью и воздействием на окружающую среду требуют разработки новых энергетических подходов без каких-либо выбросов углерода и негативных веществ. В настоящее время уделяется внимание экологически чистой энергетической стратегии, которая, возможно, заменит существующее производство энергии на основе ископаемого топлива. Это может быть достигнуто за счет того, что водород производится из возобновляемой воды. Среди многих методов производства водорода экологически чистый водород высокой чистоты (99,9%) можно получить путем электролиза воды для получения чистого водорода и кислорода. Это называется электролизом воды [1, 2].

Далее в таблице приведем различные методы производства водорода вместе с их преимуществами, недостатками, эффективностью.

Таблица 1

Метод производства водорода	Преимущества	Недостатки	Эффективность
Паровой риформинг	Развитые технологии и существующая инфраструктура	Произведенный CO_2 как побочный продукт при использовании ископаемого топлива	74-85
Автоматический термический риформинг	Хорошо отлаженные технологии и существующая инфраструктура	Произведенный CO_2 как побочный продукт при использовании ископаемого топлива	60-75
Темное брожение	Простой метод, H_2 производится без света, без ограничений O_2 , CO_2 – нейтральный, предполагает переработку отходов	Удаление жирных кислот, низкий выход H_2 , низкая эффективность, необходимость большого объема реактора	60-80
Биофотолиз	Потребление CO_2 , образование O_2 в качестве побочного продукта при работе в мягких условиях	Низкий выход H_2 , требуется солнечный свет, требуется большой реактор, чувствительность к O_2 , высокая стоимость материала	10-11
Фотоферментация	Участвует в переработке сточных вод, низкая эффективность, низкая производительность H_2 , требуется солнечный свет	Низкая эффективность, низкая производительность H_2 , требуется солнечный свет, необходимость большого объема реактора, чувствительность к O_2	0,1
Газификация	Дешевое сырье и нейтральный CO_2	Неустойчивый выход H_2 из-за примесей в сырье, сезонная доступность и образование смол	30-40
Пиролиз	Дешевое сырье и нейтральный CO_2	Образование вредных смол, нестабильный выход H_2	35-50
Термолиз	Экологически чистый побочный продукт O_2	Высокие капитальные затраты, токсичность элементов, проблемы с коррозией	20-45
Фотолиз	O_2 как побочный продукт, большое количество сырья, без выбросов	Низкоэффективный, фотокаталитический материал, требует солнечного света	0,06
Частичное окисление	Установленная технология	Наряду с производством H_2 производятся тяжелые нефти и нефтяной кокс	60-75
Электролиз	Установленная технология. Отсутствие выбросов. Существующая инфраструктура. O_2 как побочный продукт	Проблема хранения и транспортировки	60-80

По таблице 1 видно, что эффективность производства водорода посредством электролиза воды очень низкая, чтобы быть экономически конкурентоспособной. Это связано с высоким потреблением энергии и низкой скоростью выделения водорода. В настоящее время

в данном направлении проводили и проводятся ряд исследований связанные с разработкой альтернативных недорогих электрокатализаторов, для повышения эффективности и снижения энергопотребления [3]. Электролиз воды – один из методов производства водорода, по-

Таблица 2

Преимущества и недостатки различных технологий электролиза воды.

Процесс электролиза	Преимущества	Недостатки
Щелочной электролиз	Хорошо зарекомендовавшая себя технология. Неблагородные электрокатализаторы. Низкая стоимость технологии. Энергоэффективность (70-80%)	Низкие плотности тока. Образование карбонатов на электроде снижает производительность электролизера. Низкая чистота газов. Низкое рабочее давление (3-30 бар). Низкая динамическая работа
Электролиз твердых оксидов	Более высокая эффективность (90-100%) Неблагородные электрокатализаторы. Высокое рабочее давление	Большая конструкция, громадные габариты системы. Невысокая долговечность
Микробный электролиз	Использование различных органических сточных вод	Низкая скорость производства водорода. Низкая чистота водорода
Электролиз PEM	Высокая плотность тока. Компактная конструкция системы и быстрое реагирование. Большой объем производства водорода при высокой чистоте газов (99,99%). Повышенная энергоэффективность (80-90%). Высокая динамическая работа	Высокая стоимость компонентов. Кислая среда. Невысокая долговечность. Коммерциализация в ближайшем будущем

сколько он использует возобновляемую H_2O и производит только чистый кислород в качестве побочного продукта. Кроме того, в процессе электролиза используется энергия постоянного тока из устойчивых источников энергии, например, солнца, ветра и биомассы [4].

Электролиз воды можно разделить на четыре типа, в зависимости от электролита, рабочих условий и ионных агентов (OH^- , H^+ , O^{2-}), однако принципы работы в обоих случаях одинаковы. Четыре вида методов электролиза:

- электролиз щелочной,
- электролиз твердых оксидов,
- ячейки для микробного электролиза,
- электролиз воды PEM (протонообменная мембрана).

При электролизе воды с помощью PEM, вода электрохимически расщепляется на водород и кислород на соответствующих электродах, например, на водород на катоде и кислород на аноде [5, 6]. Электролиз воды PEM происходит путем закачки воды на анод, где она расщепляется на кислород (O_2), протоны

(H^+) и электроны (e^-). Эти протоны проходят через протонопроводящую мембрану к катодной стороне. Электроны выходят из анода через внешнюю цепь питания, которая обеспечивает движущую силу (напряжение ячейки) для реакции. На катодной стороне протоны и электроны воссоединяются с образованием водорода. В этом и заключается суть процесса получения водорода на основе PEM [7].

Электролиз PEM имеет многочисленные преимущества, например высокие плотности рабочего тока, высокую чистоту газов и высокий КПД. Позже для устранения этих недостатков несколько исследователей сосредоточили свои усилия на недорогих методах электролиза PEM и разработали множество альтернативных электрокатализаторов, основанных на повышении эффективности и стабильности дешевых мультиметаллических оксидов на основе Ru, а также сокращении использования дорогостоящих металлов (Ir, Pt) с использованием альтернативных подложек из активированного

угля. Проблемы реакции выделения водорода при электролизе РЕМ были сосредоточены на разработке электрокатализаторов для катода. В большинстве предыдущих отчетов, как правило, материалы на основе платины (Pt) использовались в качестве стандартного катализатора реакции выделения водорода, так как (Pt) дает превосходную активность водорода и демонстрирует выдающуюся стабильность в кислой среде, но высокодисперсные материалы на основе Pt на углеродной основе в настоящее время

являются эталонными катализаторами при электролизе воды РЕМ [8].

Выводы

В этом обзоре мы обсудили краткое введение о различных технологиях производства водорода, их преимуществах и недостатках. Кроме того, мы в основном сосредоточились на недавних разработках электролиза воды на основе РЕМ, для расщепления воды и выделения наиболее эффективных электрокатализаторов среди аналогичных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Клямкин С.Н.* Водородная энергетика: достижения и проблемы / С.Н. Клямкин, Б.П. Тарасов // Возобновляемые источники энергии. Вып. 5: 6 Всерос. науч.-молодежная школа, Москва, 26-27 нояб. 2008 г. М., 2008. С. 147-157.
2. Современная энергетика / *П.Е. Матковский [и др.]* // Машиностроитель. 2008. № 7. С. 13-20.
3. *Марченко О.В.* Анализ эффективности производства водорода с применением ветроэнергетических установок и его использования в автономной энергосистеме / О.В. Марченко, С.В. Соломин // Альтернатив. энерг. и экол. 2007. № 3. С. 112-118.
4. *Степанова А.В.* Химические соединения и реакции как источники энергии // Научному прогрессу – творчество молодых: сб. материалов Всерос. науч. студ. конф. по естествен. и техн. дисциплинам, Йошкар-Ола, 20-21 апр. 2007 г. Йошкар-Ола, 2007. С. 75.
5. *Зайченко В.М.* Комплексная переработка природного газа с получением водорода для энергетике и углеродных материалов широкого промышленного применения / В.М. Зайченко, Э.Э. Шпильрайн, В.Я. Штеренберг // Теплоэнергетика. 2006. № 3. С. 51-57.
6. *Федоров С.* Энергетика будущего / С. Федоров, М. Инешина // В мире науки. 2006. № 3. С. 14.
7. *Мамун Рашид, Мохаммед К., Хамид Насим.* Производство водорода электролизом воды: обзор электролиза щелочной воды, электролиза воды РЕМ и электролиза воды при высоких температурах. Международный журнал передовых инженерных технологий. № 4. 2015. С. 2249-8958.
8. *К. Цзэн, Д. Чжан.* Последние достижения в области электролиза щелочной воды для производства и применения водорода. Энергия сгорания // Наука. № 36. 2010. С. 307-326.

HYDROGEN PRODUCTION BY ELECTROLYSIS OF WATER FROM POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE (PEM)

© Yu. Kh. Taramov, R. I. Akhyadov, A. A. Elmurzaev
GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

In the modern world, with the growth of population and living standards, energy consumption is gradually increasing. Along with this, with the increase in global warming and environmental pollution, the development of alternative energy sources becomes more and more important. Hydrogen is one such source of global energy. Hydrogen is one of the most promising green and sustainable energy sources, and it releases only water as a by-product without any carbon emissions. The steadily growing global energy demand and limited fossil fuel reserves, together with sustainability and environmental impact, require the development of new energy approaches without any carbon and negative substances. Among the many methods of hydrogen production, environmentally friendly high purity hydrogen (99.9%) can be obtained by electrolysis of water to produce pure hydrogen and oxygen.

Keywords: Alternative energy, hydrogen, oxygen, water, energy efficiency, electrolysis.

REFERENCES

1. Klyamkin, S. N. and Tarasov, B. P. (2008) Vodorodnaya energetika: dostizheniya i problem. 'Vozobnovlyаемые источники энергии'. Vyp. 5: 6 *Vseros. nauch.-molodezhnaya shkola*, Moskva, 26-27 noyab. 2008 g. [Renewable energy sources. Issue 5: 6 Allruss. scientific and youth school, Moscow, 26-27 nov. 2008], Moscow, Pp. 147-157.
2. Matkovskii, P. E. [and others] (2008) 'Sovremennaya energetika'. *Mashinostroitel*. №7. Pp. 13-20.
3. Marchenko, O. V. and Solomin, S. V. (2007) 'Analiz effektivnosti proizvodstva vodoroda s primeneniem vetroenergeticheskikh ustanovok i ego ispol'zovaniya v avtonomnoi energosisteme'. [Analysis of the efficiency of hydrogen production using wind power plants and its use in an autonomous power system]. *Al'ternativ. energ. i ekol.* №3. Pp. 112-118.
4. Stepanova, A. V. (2007) 'Khimicheskie soedineniya i reaktsii kak istochniki energii'. *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh: sb. materialov Vseros. nauch. stud. konf. po estestven. i tekhn. disciplinam.* [Chemical compounds and reactions as sources of energy. Scientific progress – creativity of the young: collection of articles. materials of Allruss. scientific. stud. conf. by natural and tech. disciplines]. Ioshkar-Ola, 20-21 apr. 2007 g., Ioshkar-Ola. P. 75.
5. Zaichenko, V.M. Shpil'rain, E. E. and Shterenberg, V. Ya. (2006) 'Kompleksnaya pererabotka prirodnogo gaza s polucheniem vodoroda dlya energetiki i uglerodnykh materialov shirokogo promyshlennogo primeneniya'. *Teploenergetika*. [Complex processing of natural gas with hydrogen production for power engineering and carbon materials of wide industrial application. Heat power engineering]. №3. P. 51-57.
6. Fedorov, S. and Ineshina, M. (2006) 'Energetika budushchego'. *V mire nauki*. [Energy of the future. In the world of science]. №3. P. 14.
7. Mamun, Rashid, Mokhammed, K., Khamid, Nasim (2015) 'Proizvodstvo vodoroda elektrolizom vody: obzor elektroliza shchelochnoi vody, elektroliza vody PEM i elektroliza vody pri vysokikh temperaturakh'. *Int. J. Eng. Adv. Technol.* [Hydrogen production by electrolysis of water: an overview of alkaline water electrolysis, PEM water electrolysis and high temperature water electrolysis]. №4 (2015), pp. 2249-8958
8. K. Tszen and D. Chzhan (2010) 'Poslednie dostizheniya v oblasti elektroliza shchelochnoi vody dlya proizvodstva i primeneniya vodoroda. Prog. Energiya sgoraniya'. *Nauka*. [Recent advances in the field of alkaline water electrolysis for the production and use of hydrogen. Combustion energy, Science.], 36 (2010), pp. 307-326.