

М. М. ЗІПУННІКОВ

РОЗРОБКА НЕПРЯМОГО ВІДБОРУ ПРОБ ВОДНЮ З БЕЗМЕМБРАННОЇ ЕЛЕКТРОЛІЗНОЇ КОМІРКИ

В роботі представлено спосіб відбору проб водню з електролізної комірки для подальшого аналізу складу згенерованого газу. Вирішуючи завдання відбору проби водню нами використовувалась система «електролізна комірка – сепаратор водню – заповнена дистильованою водою газова піпетка». Система забезпечує подачу виробленого в електролізній комірці водню до газової піпетки без змішування з атмосферними газами. Відбір проб водню (кисню) безпосередньо з електролізера для подальшого аналізу проводився без вакуумування ємностей для накопичення газу та з'єднувальних трубопроводів. Метою роботи є розробка та відпрацювання непрямого відбору проб водню з електролізної комірки без вакуумування додаткового обладнання. Методика проведення розробленого непрямого відбору забезпечує чистоту та представництво проби згенерованого в електролізній комірці газу. Система надає можливість транспортувати вироблений в електролізній комірці водень до газової піпетки без змішування з атмосферними газами. Повільне заповнення накопиченим згенерованим воднем газової піпетки дозволяє повністю витиснути з неї дистилат без залишків крапель рідини на стінках піпетки.

Ключові слова: водень, електролізна комірка, відбір проб, дистильована вода.

Вступ.

Розширення сфер застосування водню пов'язують з якісними сучасними змінами, що відбуваються у даний час в хімічній, машинобудівній, металургійній, різних видах транспортної та логістичної промисловості, а також, наприклад, у різних видах розвитку енергетичної сфери. Серед існуючих методів одержання водню в промислових масштабах водень виробляється в основному двома методами – каталітичним розкладанням при високій температурі природного газу (метану) та електролізом води [1–17]. Основним недоліком електрохімічного методу одержання водню є його велика енергоємність. Тому, для водневої енергетики актуальним є розробка електрохімічних технологій генерації водню з води з мінімальними витратами електроенергії, чому й присвячений значний обсяг наукових досліджень.

Важливу характеристику електрохімічних технологій становить чистота або кількість домішок в згенерованих газах. Зважаючи на це, забезпечення якісного відбору проб газів є суттєвою складовою досліджень електролізних процесів. Відбір проб водню (кисню) безпосередньо з електролізера для подальшого аналізу має певні складнощі з вакуумуванням з'єднувальних трубопроводів та ємностей для накопичення газу.

Метою роботи є розробка та відпрацювання непрямого відбору проб водню з електролізної комірки без вакуумування додаткового обладнання.

Експериментальна частина

В Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України розроблено технологію електрохімічного отримання водню і кисню високого тиску з використанням газопоглинаючого електрода в безмембранних конструкціях електролізерів. Розроблений електрохімічний метод розкладання води є циклічним, що складається з чергових у часі процесів виділення водню і кисню [18–20].

Для проведення експериментальних досліджень щодо визначення електрохімічної активності та електрохімічних характеристик електродних

матеріалів в катодно-анодних системах створено лабораторну установку, яка моделює процеси, що відбуваються в безмембранному електролізері високого тиску з активним газопоглинаючим електродом. На рис. 1, 2 наведено функціональну схему та зовнішній вигляд розробленої лабораторної установки з безмембранною електрохімічною коміркою для дослідження катодно-анодних пакетів електродів та з системою відбору проб водню.



Рис. 1. Лабораторна установка з безмембранною електрохімічною коміркою і з системою відбору проб водню

© Зіпунніков М.М., 2022

Лабораторна установка має систему електрохімічної генерації водню і кисню, яка складається з реактора, магістральних трубопроводів, сепараторів (промивних склянок) і ємності з

дистильованою водою, а також установка має блок живлення, контролю та управління і систему вимірювання параметрів згенерованих газів.

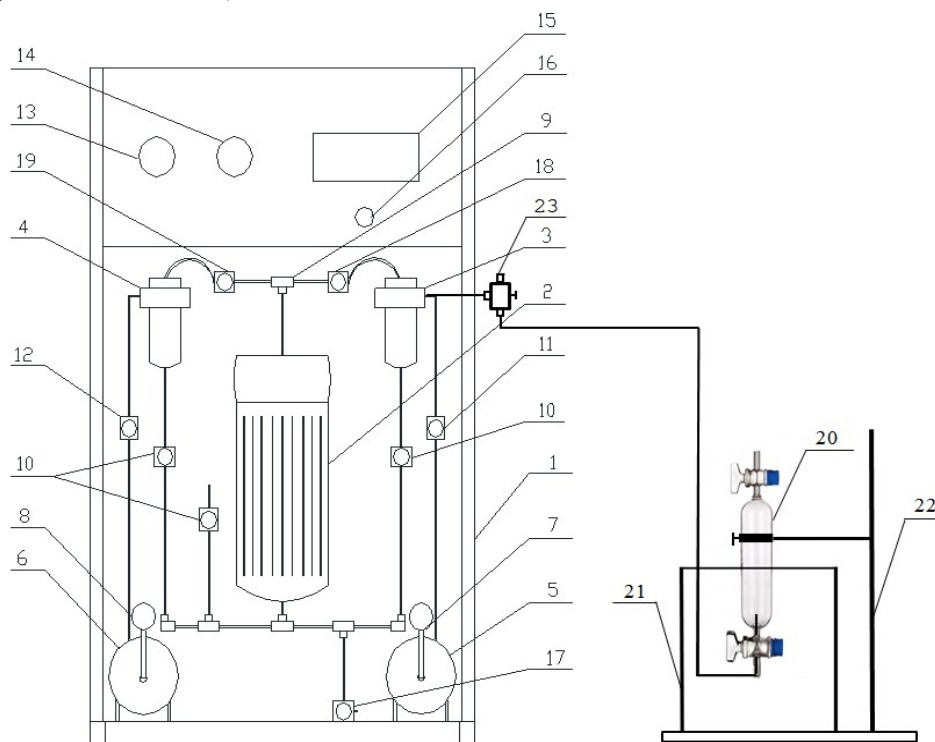


Рис. 2. Функціональна схема лабораторної установки з безмембранною електрохімічною коміркою:

- 1 – корпус установки; 2 – електролізна комірка; 3 – сепаратор водню;
- 4 – сепаратор кисню; 5 – ресивер зберігання водню; 6 – ресивер зберігання кисню;
- 7 – манометр ресивера зберігання водню; 8 – манометр ресивера зберігання кисню;
- 9, 18, 19 – елементи розподільника газорідного потоку;
- 10 – електромагнітні клапани керування потоками у рідинних магістралях;
- 11 – електромагнітний клапан подачі водню у систему зберігання;
- 12 – електромагнітний клапан подачі кисню у систему зберігання;
- 13 – манометр кисневої газової магістралі; 14 – манометр водневої газової магістралі;
- 15 – контролер управління алгоритмом роботи електролізера;
- 16 – вмикач мережного живлення; 17 – електромагнітний клапан системи зливу електроліту;
- 20 – газова піпетка; 21 – ємність з дистильованою водою; 22 – штатив; 23 – триходовий кран

Лабораторна електролізна установка виконана на основі єдиної рами і умовно розділена на дві частини:

- відсік електрохімічної генерації водню і кисню;
- відсік силової електроніки та управління.

Відсік електрохімічної генерації водню і кисню має бак (на рис. 1 не вказаний), за допомогою якого через горловину в систему електролізної установки початково заливається електроліт і в подальшому проводиться періодичне дозоване поповнення дистильованої води. В процесі електролізу при генерації водню і кисню витрачається вода, що входить до складу електроліту, а луг, що міститься в розчині, служить тільки для перенесення іонів. Після вироблення частини води з електроліту її періодично доливають. Поповнення витраченої води здійснюється по досягненню граничної мінімальної

величини об'єму електроліту [20].

Відсік електролізу також включає: електролізну комірку 2 з електродним пакетом; водневий і кисневий сепаратори 3 і 4, що забезпечують первинне очищення водню і кисню від парів електроліту; перемикачі газорідного потоку 9, 18, 19, які забезпечують роздільну подачу газів у водневу та кисневу магістралі. На виході водневої та кисневої газових магістралей встановлено електромагнітні клапани 11, 12 для подачі водню і кисню в ресивери системи зберігання 5, 6. Контроль тиску всередині робочої системи електролізера проводиться за допомогою манометрів 13, 14. У разі необхідності злив електроліту здійснюється через електромагнітний клапан 17.

Електричний відсік вміщує ізольовані блоки управління та живлення, в яких розміщено і скомпоновано все необхідне обладнання для

перетворення змінного струму на постійний (трансформатори, випрямлячі та інвертори), контролю та управління технологічним процесом, в т.ч. параметрами безпеки та забезпечення роботи обладнання в ручному і автоматичному режимах.

Розроблений блок живлення, контролю та управління лабораторної установки забезпечує:

- напругу постійного номіналу і стабілізований струм;
- точне регулювання і контроль величини струму і напруги;
- реверсне перемикання полярності при досягненні заданої величини напруги.

До складу лабораторної установки належать також засоби вимірювальної техніки, що забезпечують вимірювання параметрів електрохімічного генерування водню і кисню та умов випробувань.

Для відбору проби водню використано скляну газову піпетку Зегера 20 (рис. 1) з двома одноходовими кранами. Газові піпетки Зегера застосовуються для відбору, зберігання та транспортування газових проб до місця призначення (тобто для подальшого дослідження складу проби газу). За допомогою кранів простір всередині піпетки закривається герметично.

Слід зазначити, що для розробленого в ІПМаш НАН України безмембранного електролізера неможна застосувати відомий спосіб відбору газу в газові піпетки [21] засмокуванням його водою, що витікає з піпетки, через циклічність генерації водню і кисню.

Розроблена система відбору проб водню має газову піпетку 20, закріплену на штативі 22 над ємністю з дистильованою водою 21 із зануренням нижнього крану піпетки в дистильовану воду. Нижній кран газової піпетки за допомогою силіконової трубки через триходовий кран 23 під'єднано до сепаратора водню 3. При цьому край силіконової трубки заведено в скляну трубку нижнього крана піпетки із зазором. Тобто, внутрішній діаметр скляної трубки нижнього крана більше зовнішнього діаметра силіконової трубки, що дозволяє дистильованій воді за потреби вільно витікати з піпетки 20.

Проведення експерименту та обговорення результатів дослідження

Особливістю перебігу електрохімічних реакцій визначеної на електродах є циклічне чергування окисної та відновної реакції активної маси газопоглинаючого електрода і виділення газоподібного водню і кисню на другому електроді [18–20].

Першим етапом експериментальних досліджень кожного електродного пакета є активація газопоглинаючого електрода, що відповідає двом (трьом) повним циклам окислювально-відновної реакції активної маси газопоглинаючого електрода, яка повинна проходити при малій густині струму

(15 – 30 % від номінального значення). Максимальний тиск водню (кисню) в лабораторній електролізній установці (рис. 1, 2) становить 1-2 атм.

Для проведення експериментальних досліджень необхідно провести наступні підготовчі роботи:

- перевірка роботи лабораторної установки з електрохімічною коміркою;
- заповнення дистильованою водою газової піпетки 20;
- заповнення ємності 21 дистильованою водою;
- встановлення газової піпетки 20 на штатив 22 із зануренням нижнього крану в ємність 21 з дистильованою водою;
- заповнення крізь триходовий кран 23 дистильованою водою силіконової трубки та під'єднання її до нижнього крану газової піпетки;
- підключення зовнішніх вимірювальних пристроїв.

Експериментальні дослідження електродного пакета в умовах лабораторної установки з безмембранною електрохімічною коміркою проводять при декількох значеннях густини струму, тобто за змінної продуктивності електролізної комірки за воднем.

Відбір проби водню виконується наступним чином.

Попередньо, для усунення домішок додаткових газів, крізь триходовий кран 23, відкритий на атмосферу, виконується продувка сепаратора 3 і газової магістралі згенерованим в електролізній комірці воднем.

Потім триходовий кран переключується в робоче положення і накопичений у водневому сепараторі 3 водень крізь триходовий кран 23 за допомогою силіконової трубки подається до газової піпетки 20 з поступовим витисканням дистильованої води з силіконової трубки та газової піпетки, що також забезпечує відсутність у пробі водню домішок додаткових газів.

Подача водню до газової піпетки 20 відбувається крізь нижній кран піпетки, а верхній кран при цьому знаходиться у положенні “закрито”.

Заповнення воднем газової піпетки, в залежності від об'єму піпетки та продуктивності електролізної комірки за воднем, може відбуватись за декілька напівциклів виділення водню. Повільне заповнення накопиченим згенерованим воднем газової піпетки 20 дозволяє повністю витиснути з неї дистилат в ємність 21 без залишків крапель рідини на стінках піпетки.

Після повного витискання усього об'єму води з газової піпетки 20 нижній кран переводиться у положення “закрито” та силіконова трубка від'єднується. Заповнену воднем піпетку можна транспортувати в місце призначення.

В таблиці 1 наведено час заповнення газової піпетки воднем в залежності від режимних параметрів роботи при експериментальних дослідженнях електродного пакета в умовах лабораторної

установки з безмембранною електрохімічною коміркою.

Таблиця 1. Час заповнення газової піпетки воднем в залежності від густини струму

Густина струму, А/м ²	Об'єм піпетки, мл.	Час заповнення піпетки, хв.
150	500	15
100		25
75		37
50		72

Зменшення тривалості заповнення газової піпетки воднем свідчить про підвищення густини струму на електродах (тобто зростання струму живлення). Отримані експериментальні дані дозволяють розробити оригінальний непрямий відбір проб водню безпосередньо з електролізної комірки без змішування з атмосферними газами.

Висновки

Розроблено та відпрацьовано непрямий відбір проб водню з безмембранної електролізної комірки без вакуумування з'єднувальних трубопроводів та ємностей для накопичення газу. Методика проведення розробленого непрямого відбору забезпечує чистоту та представництво проби згенерованого в електролізній комірці газу.

Відбір проб водню проводився з використанням системи «електролізна комірка – сепаратор водню – заповнена дистильованою водою газова піпетка». Система надає можливість транспортувати вироблений в електролізній комірці водень до газової піпетки без змішування з атмосферними газами.

Заповнення воднем газової піпетки, в залежності від об'єму піпетки та продуктивності електролізної комірки за воднем, може відбуватись за декілька напівциклів виділення водню. Повільне заповнення накопиченим згенерованим воднем газової піпетки дозволяє повністю витиснути з неї дистилат без залишків крапель рідини на стінках піпетки.

Список літератури

- Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: [Справ. изд.] / Д. Ю. Гамбург, В. П. Семенов, Н. Ф. Дубовкин, Л. Н. Смирнова. – М.: Химия, 1989. – 672 с.
- Якименко Л.М. Электродные материалы в прикладной электрохимии / Якименко Л.М. – М.: Химия, 1977. 264 с.
- Wang M., Wang Z., Gong X., Guo Z. The Intensification Technologies to Water Electrolysis for Hydrogen Production. / Wang M., Wang Z., Gong X., Guo Z. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. – № 29. – P. 573–588. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.090>
- Зіпунніков М.М., Бухкало С.І. Дослідження загальної технології водню за оптимальними параметрами як складова комплексного розвитку асоціації EFCE та CFE-UA / Зіпунніков М.М., Бухкало С.І. // *Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ»*. Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – 2021. – № 2 (1362). – С. 70–82.
- Smolinka T. Fuels – Hydrogen Production. Water Electrolysis / Smolinka T. // *Encyclopedia Electrochemical Power Sources*. – 2009. – P. 394–413. <https://doi.org/10.1016/B978-044452745-5.00315-4>
- Phillips R., Dunnill Ch. W. Zero gap alkaline electrolysis cell design for renewable energy storage as hydrogen gas / Phillips R., Dunnill Ch. W. // *RSC Advances*. – 2016. – Vol. 6. Iss. 102. – P. 100643–100651. <https://doi.org/10.1039/C6RA22242K>.
- Troshen'kin V.B., Markosova V.P., Troshen'kin B.A. Heat and mass transfer in hydrogen production by electrolysis of a water-coal suspension / Troshen'kin V.B., Markosova V.P., Troshen'kin B.A. // *Journal of Engineering Physics and Thermophysicsthis link is disabled*. – 2010. – Vol. 83(2). – P. 330–337. <https://doi.org/10.1007/s10891-010-0349-8>
- Zhenpeng Hong, Zixuan Wei, Xiaojuan Han. Optimization scheduling control strategy of wind-hydrogen system considering hydrogen production efficiency, *Journal of Energy Storage*. 2021. 103609. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103609>
- Zheng Tian, Hong Lv, Wei Zhou, Cunman Zhang, Pengfei He. Review on equipment configuration and operation process optimization of hydrogen refueling station. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. pp. 3033–3053. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.238>
- V. Solovey, N. Vnukova, A. Grytsenko, P. Kanilo. Influence of energy-environmental factors on the competitiveness of hydrogen as a motor fuel (in transport energy installations). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 5(8). pp. 41–46. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27657
- I. Lynnyk, K. Vakulenko, E. Lezhneva. Analysis of the Air Quality in Considering the Impact of the Atmospheric Emission from the Urban Road Traffic. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021. 207:13–27.
- H.A. Miller, K. Bouzek, J. Hnat, S. Loos, C.I. Bernäcker, T. Weißgärber, L. Röntzsch, J. Meier-Haack. Green hydrogen from anion exchange membrane water electrolysis: a review of recent developments in critical materials and operating conditions. *Sustainable Energy & Fuels*. 2020. Vol 4. pp. 2114–2133. DOI: 10.1039/C9SE01240K
- E. Rozzi, F.D. Minuto, A. Lanzini, P. Leone. Green Synthetic Fuels: Renewable Routes for the Conversion of Non-Fossil Feedstocks into Gaseous Fuels and Their End Uses. *Energies*. 2020. Vol. 13(2). <https://doi.org/10.3390/en13020420>
- Green Hydrogen from Water Electrolysis, Solution for Sustainability. *Energy Industry Review*. 2020. July 1. <https://energyindustryreview.com/energy-efficiency/green-hydrogen-from-water-electrolysis-solution-for-sustainability/>
- A. N. Colli, H.H. Girault, A. Battistel. Non-Precious Electrodes for Practical Alkaline Water Electrolysis. *The Materials*. 2019. Vol. 12(8). 1336. <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/8/1336>
- Feichen Yang, Myung Jun Kim, Micah Brown, Benjamin J. Wiley. Alkaline Water Electrolysis at 25 A·cm⁻² with a Microfibrinous Flow-through Electrode. *Advanced Energy Materials*. 2020. Vol. 10 (25). <https://doi.org/10.1002/aenm.202001174>
- O. Ulleberg, R. Hancke. Techno-economic calculations of small-scale hydrogen supply systems for zero emission transport in Norway. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020. Vol. 45, № 2. pp. 1201–1211. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319>

- 919320841?via%3Dihub
18. Solovey V.V., Zipunnikov M.M., Kotenko A.L. Researching and adjusting the modes of joint operation of a photoelectric converter and a high pressure electrolyzer / Solovey V.V., Zipunnikov M.M., Kotenko A.L. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47, № 66. – P. 28272–28279. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.161>
 19. Solovey V.V., Zipunnikov M.M., Rusanov R.A. Increasing The Maneuverability Of Power Units Of The Thermal Power Plants Due To Applying The Hydrogen-Oxygen Systems / Solovey V.V., Zipunnikov M.M., Rusanov R.A. // Journal of Physics: Energy. – 2022. – Vol. 5(1). – P. 10. <https://doi.org/10.1088/2515-7655/aca9ff>
 20. Solovey V.V., Rusanov A.V., Zipunnikov M.M., Semikin V.M. Method for Calculation of the Current Concentration of Alkali in the Electrolyte During the Water Electrolysis Process / Solovey V.V., Rusanov A.V., Zipunnikov M.M., Semikin V.M. // French-Ukrainian Journal of Chemistry. – 2021. – Vol. 9(2). – P. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.17721/fujcV9I2P27-33>
 21. Технічний аналіз продуктів органічного синтезу: [Учебное пособие для химических техникумов]. / Колесников А.Л. – М.: Высшая школа, 1966. – 231 с.
 22. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи). 2-ге вид. доп.: ч. 2, [текст] підручник з грифом МОН / С.І. Бухкало, М.М. Зіпунніков та ін. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.
- Bibliography (transliterated)**
1. Vodorod. Svoystva, polucheniye, khraneniye, transportirovaniye, primeneniye: [Sprav. izd.] / D. YU. Gamburg, V. P. Semenov, N. F. Dubovkin, L. N. Smirnova. – М.: Khimiya, 1989. – 672 з.
 2. Yakimenko L.M. Elektroodnyye materialy v prikladnoy elektrokhimii / Yakimenko L.M. – М.: Khimiya, 1977. – 264 s.
 3. Wang M., Wang Z., Gong X., Guo Z. The Intensification Technologies to Water Electrolysis for Hydrogen Production. / Wang M., Wang Z., Gong X., Guo Z. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – № 29. – P. 573–588. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.090>
 4. Zipunnikov M.M., Bukhhalo S.I. Doslidzhennya zahal'noyi tekhnolohiyi vodnyu za optymal'nymy parametramy yak skladova kompleksnoho rozvytku assotsiatsiy EFCE ta CFE-UA / Zipunnikov M.M., Bukhhalo S.I. // Visnyk Natsional'noho Tekhnichnoho Universytetu «KHPI». Seriya: Innovatsiyini doslidzhennya u naukovykh robotakh studentiv. – 2021. – № 2 (1362). – P. 70–82.
 5. Smolinka T. Fuels – Hydrogen Production. Water Electrolysis / Smolinka T. // Encyclopedia Electrochemical Power Sources. – 2009. – P. 394–413. <https://doi.org/10.1016/B978-044452745-5.00315-4>
 6. Phillips R., Dunnill Ch. W. Zero gap alkaline electrolysis cell design for renewable energy storage as hydrogen gas / Phillips R., Dunnill Ch. W. // RSC Advances. – 2016. – Vol. 6. Iss. 102. – P. 100643–100651. <https://doi.org/10.1039/C6RA22242K>.
 7. Troshen'kin V.B., Markosova V.P., Troshen'kin B.A. Heat and mass transfer in hydrogen production by electrolysis of a water-coal suspension / Troshen'kin V.B., Markosova V.P., Troshen'kin B.A. // Journal of Engineering Physics and Thermophysicsthis link is disabled. – 2010. – Vol. 83(2). – P. 330–337. <https://doi.org/10.1007/s10891-010-0349-8>
 8. Zhenpeng Hong, Zixuan Wei, Xiaojuan Han. Optimization scheduling control strategy of wind-hydrogen system considering hydrogen production efficiency, *Journal of Energy Storage*. 2021. 103609. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103609>
 9. Zheng Tian, Hong Lv, Wei Zhou, Cunman Zhang, Pengfei He. Review on equipment configuration and operation process optimization of hydrogen refueling station. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. pp. 3033-3053. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.238>
 10. V. Solovey, N. Vnukova, A. Grytsenko, P. Kanilo. Influence of energy-environmental factors on the competitiveness of hydrogen as a motor fuel (in transport energy installations). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 5(8). pp. 41-46. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27657
 11. I. Lynnyk, K. Vakulenko, E. Lezhneva. Analysis of the Air Quality in Considering the Impact of the Atmospheric Emission from the Urban Road Traffic. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021. 207:13-27.
 12. H.A. Miller, K. Bouzek, J. Hnat, S. Loos, C.I. Bernäcker, T. Weißgärber, L. Röntzsch, J. Meier-Haack. Green hydrogen from anion exchange membrane water electrolysis: a review of recent developments in critical materials and operating conditions. *Sustainable Energy & Fuels*. 2020. Vol 4. pp. 2114-2133. DOI: 10.1039/C9SE01240K
 13. E. Rozzi, F.D. Minuto, A. Lanzini, P. Leone. Green Synthetic Fuels: Renewable Routes for the Conversion of Non-Fossil Feedstocks into Gaseous Fuels and Their End Uses. *Energies*. 2020. Vol. 13(2). <https://doi.org/10.3390/en13020420>
 14. Green Hydrogen from Water Electrolysis, Solution for Sustainability. *Energy Industry Review*. 2020. July 1. <https://energyindustryreview.com/energy-efficiency/green-hydrogen-from-water-electrolysis-solution-for-sustainability/>
 15. A. N. Colli, H.H. Girault, A. Battistel. Non-Precious Electrodes for Practical Alkaline Water Electrolysis. *The Materials*. 2019. Vol. 12(8). 1336. <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/8/1336>
 16. Feichen Yang, Myung Jun Kim, Micah Brown, Benjamin J. Wiley. Alkaline Water Electrolysis at 25 A·cm⁻² with a Microfibrous Flow-through Electrode. *Advanced Energy Materials*. 2020. Vol. 10 (25). <https://doi.org/10.1002/aenm.202001174>
 17. O. Ulleberg, R. Hancke. Techno-economic calculations of small-scale hydrogen supply systems for zero emission transport in Norway. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020. Vol. 45, № 2. pp. 1201-1211. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319919320841?via%3Dihub>
 18. Solovey V.V., Zipunnikov M.M., Kotenko A.L. Researching and adjusting the modes of joint operation of a photoelectric converter and a high pressure electrolyzer / Solovey V.V., Zipunnikov M.M., Kotenko A.L. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47, № 66. – P. 28272–28279. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.161>
 19. Solovey V.V., Zipunnikov M.M., Rusanov R.A. Increasing The Maneuverability Of Power Units Of The Thermal Power Plants Due To Applying The Hydrogen-Oxygen Systems / Solovey V.V., Zipunnikov M.M., Rusanov R.A.

- // Journal of Physics: Energy. – 2022. – Vol. 5(1). – P. 10.
<https://doi.org/10.1088/2515-7655/aca9ff>
20. Solovey V.V., Rusanov A.V., Zipunnikov M.M., Semikin V.M. Method for Calculation of the Current Concentration of Alkali in the Electrolyte During the Water Electrolysis Process / Solovey V.V., Rusanov A.V., Zipunnikov M.M., Semikin V.M. // French-Ukrainian Journal of Chemistry. – 2021. – Vol. 9(2). – P. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.17721/fujcV9I2P27-33>
21. Tekhnicheskii analiz produktov organicheskogo sinteza: [Uchebnoye posobiye dlya khimicheskikh tekhnikumov]. / Kolesnikov A.L. – M.: Vysshaya shkola, 1966. – 231 p.
22. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi). 2-ge vid. dop.: ch. 2, [tekst] pidruchnik z grifom MON / S.I. Bukhhalo, M.M. Zipunnikov ta in. – K.: CNL., 2013. – 352 p.

Надійшла (received) 19.10.2022

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Зіпунніков Микола Миколайович (Zipunnikov Nikolai Nikolaevich, Zipunnikov Mykola Mykolayovych)

– кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу водневої енергетики, ІПМаш НАН України, м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0579-2962>;

e-mail: zipunnikov_n@ukr.net

M. M. ZIPUNNIKOV

DEVELOPMENT OF INDIRECT HYDROGEN SAMPLING FROM A MEMBRANELESS ELECTROLYSIS CELL

The paper presents a method of hydrogen sampling from an electrolysis cell for further analysis of the composition of the generated gas. Solving the problem of hydrogen sampling, the system "electrolytic cell - hydrogen separator - gas pipette filled with distilled water" was used. The system ensures the supply of hydrogen produced in the electrolysis cell to the gas pipette without mixing with atmospheric gases. Sampling of hydrogen (oxygen) directly from the electrolyzer for further analysis was carried out without evacuating the gas storage tanks and connecting pipelines. The purpose of the work is the development and testing of indirect sampling of hydrogen from an electrolysis cell without vacuuming additional equipment. The developed method of indirect selection ensures the purity and representativeness of the gas sample generated in the electrolysis cell. The system makes it possible to transport the hydrogen produced in the electrolysis cell to the gas pipette without mixing it with atmospheric gases. Slowly filling the gas pipette with the accumulated generated hydrogen allows you to completely squeeze the distillate out of it without remaining drops of liquid on the walls of the pipette.

Key words: hydrogen, electrolysis cell, sampling, distilled water.

Н. Н. ЗИПУННИКОВ

РАЗРАБОТКА НЕПРЯМОГО ОТБОРА ПРОБ ВОДОРОДА ИЗ БЕЗМЕМБРАННОЙ ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ ЯЧЕЙКИ

В работе представлен способ отбора проб водорода из электролизной ячейки для последующего анализа состава сгенерированного газа. Решая задачу отбора пробы водорода, использовалась система «электролизная ячейка – сепаратор водорода – заполненная дистиллированной водой газовая пипетка». Система обеспечивает подачу производимого в электролизной ячейке водорода в газовую пипетку без смешивания с атмосферными газами. Отбор проб водорода (кислорода) непосредственно из электролизера для дальнейшего анализа производился без вакуумирования емкостей для накопления газа и соединительных трубопроводов. Целью работы является разработка и отработка косвенного отбора проб водорода из электролизной ячейки без вакуумирования дополнительного оборудования. Методика проведения разработанного косвенного отбора обеспечивает чистоту пробы сгенерированного в электролизной ячейке газа. Система предоставляет возможность транспортировать производимый в электролизной ячейке водород до газовой пипетки без смешивания с атмосферными газами. Медленное заполнение накопленным сгенерированным водородом газовой пипетки позволяет полностью выжать из нее дистиллят без остатков капель жидкости на стенках пипетки.

Ключевые слова: водород, электролизная ячейка, отбор проб, дистиллированная вода.