

## ЕКОЛОГІЯ

УДК 544.6.018

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.106.0.60

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ ДОДАНОГО РОЗЧИННИКА ( $H_2O$ )  
ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗАДАНОЇ ГУСТИНИ ЕЛЕКТРОЛІТУЗіпунніков М. М.<sup>1</sup>, Внукова Н. В.<sup>2</sup>, Котенко А. Л.<sup>1</sup><sup>1</sup>Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** У статті запропоновано спосіб визначення кількості води, яку необхідно додати для отримання заданої густини електроліту. Розглянуто спосіб розрахунку об'єму та маси води, необхідної для розведення розчину електроліту до заданої густини. Цей розрахунок дає змогу в перевірити результати вимірювань концентрації електроліту та виконати розрахунок необхідної густини електроліту з огляду на додавання розчинника ( $H_2O$ ).

**Ключові слова:** густина електроліту, вода, розчин, питома електропровідність, концентрація.

## Вступ

Питомий опір електропровідності електроліту залежить від його концентрації, що зі свого боку впливає на енерговитрати електрохімічних реакцій. Концентрація лугу (кислоти) в електроліті змінюється через те, що в електрохімічних процесах витрачається вода, яка міститься в складі електроліту, а луг або кислота, що є в розчині, слугують тільки для перенесення іонів. Після витрачання частини води з електроліту її періодично доливають. Поповнення живильної води здійснюється після досягнення граничного мінімального об'єму електроліту. У процесі проведення експериментів з електрохімічними процесами, а також у разі відсутності вимірювальних приладів іноді виникає необхідність у більш точному визначенні заданої густини електроліту та в уточненні (перевірці) показників ареометра. Розрахункове визначення заданої густини електроліту в електрохімічному процесі є важливим складником оцінки питомої електропровідності електроліту.

## Аналіз публікацій

Процес електролізу за умови витрати й періодичного поповнення живильної води відбувається за змінної концентрації лугу в електроліті. Це призводить до зміни питомої електропровідності електроліту (рис. 1), що впливає на енерговитрати під час виробництва водню та кисню.

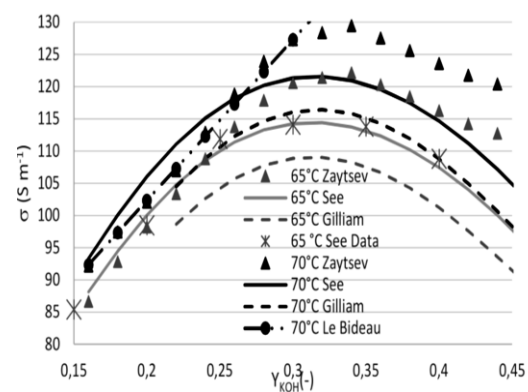


Рис. 1. Залежність питомої електропровідності водних розчинів КОН від концентрації лугу [1]

У разі періодичного дозованого поповнення води, що витрачається з електроліту, процес електролізу відбувається за змінної концентрації лугу в електроліті. У використанні водного розчину КОН це призводить до зміни питомої електропровідності електроліту (рис. 2), що зі свого боку впливає на енерговитрати під час виробництва водню та кисню.

Отже, забезпечення оптимального діапазону зміни концентрації лугу в процесі експлуатації електролізних установок для підтримки максимальної питомої електропровідності електроліту є важливим складником ефективності електролізу води.

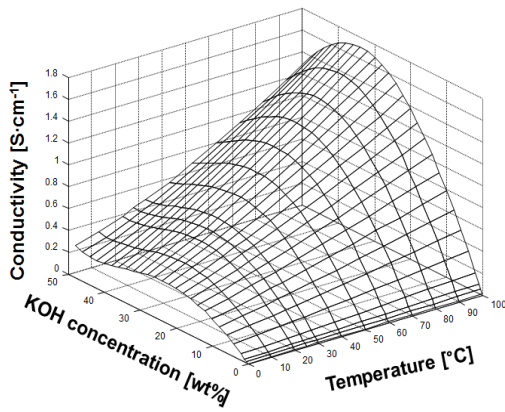


Рис. 2. Питома електропровідність водних розчинів КОН [2]

У роботах [1–14] розглядаються питання зміни питомої електропровідності та концентрації водних розчинів електролітів залежно від кількості виділеного водню та кисню в процесі електролізу.

**Мета та постановка завдання**

Метою завдання є розрахунок маси розчинника (води), необхідного для розведення розчину до необхідної густини електроліту. Для досягнення поставленої мети важливо визначити об’єм та масу розчинника (води), потрібної для розведення розчину електроліту до заданої густини з подальшим визначенням необхідної густини електроліту з огляду на додавання води. У цьому разі необхідна густина електроліту має бути меншою за густина вихідного розчину.

**Основний матеріал дослідження**

За необхідності встановлення більш точної густини електроліту необхідно додати відповідну кількість води. У разі відсутності вимірювальних приладів (ареометра) або необхідності перевірки результатів вимірювань потрібно виконати розрахунок заданої густини електроліту з огляду на додавання розчинника (H<sub>2</sub>O). У цьому разі необхідна щільність електроліту має бути меншою за густина вихідного розчину. Густина вихідного розчину електроліту визначається за формулою

$$\rho_p = \frac{m_p}{V_p},$$

де  $m_p$  – маса вихідного розчину, кг;  $V_p$  – об’єм вихідного розчину, м<sup>3</sup>. Зважаючи на це, задана густина електроліту з огляду на додавання необхідної кількості розчинника (води) визначається як

$$\rho_3 = \frac{m_p + m_{H_2O}}{V_p + V_{H_2O}},$$

$m_{H_2O}$  – маса води, кг;  $V_{H_2O}$  – об’єм води, дм<sup>3</sup>.

Оскільки розчинник H<sub>2</sub>O, чисельні значення маси води відповідають об’єму води  $m(H_2O) = V(H_2O)$

$$\begin{aligned} \rho_3 V_p + \rho_3 V_{H_2O} - V_{H_2O} &= m_p; \\ V_{H_2O}(\rho_3 - 1) &= m_p - \rho_3 V_p, \end{aligned}$$

відповідно, об’єм води, необхідний для розведення розчину електроліту до заданої густини, можна визначити як

$$V_{H_2O} = \frac{m_p - \rho_3 V_p}{\rho_3 - 1}; \quad V_{H_2O} = \frac{V_p(\rho_p - \rho_3)}{\rho_3 - 1}.$$

Маса розчинника (води), необхідного для розведення розчину до заданої густини, визначається так:

$$m_{H_2O} = m_p \frac{(\rho_p - \rho_3)}{\rho_p(\rho_3 - 1)}. \tag{1}$$

З формули (1) задана густина електроліту визначається як

$$\rho_3 = \frac{\rho_p m_p + m_{H_2O} \rho_3}{m_p + m_{H_2O}}. \tag{2}$$

Отримані розрахункові залежності дають змогу контролювати енергоефективні межі зміни густини електроліту. Зміну питомої електропровідності електроліту зі зростанням концентрації лугу (кислоти) можна пояснити зниженням рухливості іонів у концентрованих розчинах через збільшення в’язкості та внаслідок взаємодії заряджених іонів, що призводить до гальмування їх руху. Результати розрахунку заданої густини розчину електроліту (КОН), призначеного для електролізу водню та кисню відповідно до отриманих залежностей, наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку заданої густини розчину електроліту (КОН)

№	Маса розчину, кг	Об’єм розчину, дм <sup>3</sup>	Маса додаємої води, кг	Об’єм додаємої води, дм <sup>3</sup>	Густина розчину, г/дм <sup>3</sup>	Задана густина, кг/дм <sup>3</sup>
1	25	20	1,739	1,739	1,25	1,23
2	5	4	0,347	0,347	1,25	1,23
3	1	0,8	0,069	0,069	1,25	1,23

Дослідження виконували на електролізному обладнанні ІЕМС НАН України [15].

Отже, отримані залежності для електрохімічних процесів із періодичним поповненням поживної води дають змогу:

– розрахувати об'єм (масу) води, необхідної для розведення розчину електроліту до заданої густини, зважаючи на вихідну масу або густину;

– обчислити необхідну густину електроліту з огляду на додавання води;

– проаналізувати питому електропровідність електроліту, зважаючи на початкову та задану концентрації електроліту.

### Висновок

Отже, запропоновані залежності дають змогу в разі відсутності вимірювальних приладів або необхідності перевірки результатів вимірювань виконати розрахунок заданої густини електроліту з огляду на додавання розчинника (H<sub>2</sub>O).

Застосування отриманих залежностей для електрохімічних процесів із періодичним поповненням поживної води дає змогу:

– розрахувати необхідну густину електроліту, зважаючи на додавання води;

– обчислити об'єм (масу) води, необхідної для розведення розчину електроліту до заданої густини, беручи до уваги вихідну масу або густину;

– проаналізувати питому електропровідність електроліту з огляду на початкову (перед затокою води) та задану концентрації електроліту.

Дослідження виконано відповідно до наукової роботи № П-25-23 «Удосконалення та розробка основного обладнання турбоагрегатів енергоблоків АЕС, у тому числі з використанням технологій малих модульних реакторів та акумулювання енергії, з метою забезпечення енергетичної безпеки та стійкого розвитку економіки України у воєнний та повоєнний періоди» № ДР 0123U100773.

### Література

1. Hamish Andrew Miller, Karel Bouzek, Jaromir Hnat, Stefan Loos, Christian Immanuel Bernäcker, Thomas Weißgärber, Lars Röntzsch, Jochen 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.
2. Gilliam R.J., Graydon J.W., Kirk D.W., Thorpe S.J. A review of specific conductivities of

potassium hydroxide solutions for various concentrations and temperatures. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2007, V. 32, № 3, pp. 359–364. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319906005428>.

3. Elena Rozzi, Francesco Demetrio Minuto, Andrea Lanzini, Pierluigi 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), (420). <https://doi.org/10.3390/en13020420>.
4. IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA\\_Green\\_hydrogen\\_cost\\_2020.pdf](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf).
5. Green Hydrogen from Water Electrolysis, Solution for Sustainability. *Energy Industry Review*. July 1, 2020. <https://energyindustryreview.com/energy-efficiency/green-hydrogen-from-water-electrolysis-solution-for-sustainability/>.
6. Renee Cho. Why We Need Green Hydrogen. Columbia Climate School January 7, 2021. <https://news.climate.columbia.edu/2021/01/07/need-green-hydrogen/>.
7. Duke researchers boost electrolyzer productivity with microfibrinous flow-through electrode; 12.5- to 50-times greater than conventional. *Green Car Congress*. 01 June 2020. <https://www.greencarcongress.com/2020/06/20200601-duke.html>.
8. Colli, H. Girault, A. Battistel. Non-Precious Electrodes for Practical Alkaline Water Electrolysis. *Materials*, 2019. <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/8/1336>.
9. Feichen Yang, Myung Jun Kim, Micah Brown, Benjamin J. Wiley. Alkaline Water Electrolysis at 25 A·cm<sup>-2</sup> with a Microfibrinous Flow-through Electrode. *Advanced Energy Materials*, 2020, Vol. 10 (25). <https://doi.org/10.1002/aenm.202001174>.
10. Ulleberg O., Hancke R. 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>.
11. Li D., Park E.J., Zhu W. et al. Highly quaternized polystyrene ionomers for high performance anion exchange membrane water electrolyzers. *Nature Energy*, 2020, № 5, pp. 378–385. <https://www.nature.com/articles/s41560-020-0577-x>.
12. Yates J., Daiyan R., Patterson R., Amal R., Chang N. Techno-economic analysis of PV driven Hydrogen electrolysis – key drivers to economic feasibility. Australian PV Institute, 2019. <http://apvi.org.au/solar-research-conference/proceedings-apsrc-2019/>.

13. Le Bideau D., Mandin Ph., Kim M., Sellier M. Review of necessary thermophysical properties and their sensitivities with temperature and electrolyte mass fractions for alkaline water electrolysis multiphysics modeling. . International Journal of Hydrogen Energy, 2019, Vol. 44, № 10, pp. 4553–4569. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919300175>.
14. Solovey V.V., Zipunnikov M.M., Semikin V.M. Method for Calculating the Feed Water Replenishment Parameters under Electrolysis Process in Electrolyzer. French-Ukrainian Journal of Chemistry, 2020, Vol. 8, № 2, pp. 168–175. <https://doi.org/10.17721/fujcV8I2P168-175>.
15. Русанов А.В., Соловей В.В., Зіпунніков М.М., Шевченко А.А. Термогазодинаміка фізико-енергетичних процесів в альтернативних технологіях. Монографія в 3 т. Харків, 2018. Т. 1. 336 с.

### References

1. Hamish Andrew Miller, Karel Bouzek, Jaromir Hnat, Stefan Loos, Christian Immanuel Bernäcker, Thomas Weißgärber, Lars Röntzsch, Jochen 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.
2. A review of specific conductivities of potassium hydroxide solutions for various concentrations and temperatures / R.J. Gilliam, J.W. Graydon, D.W. Kirk, S.J. Thorpe // Int. J. Hydrogen Energy, 2007, V. 32, № 3, pp. 359–364. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319906005428>.
3. Elena Rozzi, Francesco Demetrio Minuto, Andrea Lanzini, Pierluigi 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), (420). <https://doi.org/10.3390/en13020420>.
4. IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA\\_Green\\_hydrogen\\_cost\\_2020.pdf](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf).
5. Green Hydrogen from Water Electrolysis, Solution for Sustainability. Energy Industry Review. July 1, 2020. <https://energyindustryreview.com/energy-efficiency/green-hydrogen-from-water-electrolysis-solution-for-sustainability/>.
6. Renee Cho. Why We Need Green Hydrogen. Columbia Climate School January 7, 2021. <https://news.climate.columbia.edu/2021/01/07/need-green-hydrogen/>.
7. Duke researchers boost electrolyzer productivity with microfibrillar flow-through electrode; 12.5- to 50-times greater than conventional. Green Car Congress. 01 June 2020. <https://www.greencarcongress.com/2020/06/20200601-duke.html>.
8. Colli, H. Girault, A. Battistel. Non-Precious Electrodes for Practical Alkaline Water Electrolysis. Materials, 2019. <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/8/1336>.
9. Feichen Yang, Myung Jun Kim, Micah Brown, Benjamin J. Wiley. Alkaline Water Electrolysis at 25 A·cm<sup>-2</sup> with a Microfibrillar Flow-through Electrode. Advanced Energy Materials, 2020, Vol. 10 (25). <https://doi.org/10.1002/aenm.202001174>.
10. 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>.
11. D. Li, E.J. Park, W. Zhu et al. Highly quaternized polystyrene ionomers for high performance anion exchange membrane water electrolysers. Nature Energy, 2020, № 5, pp. 378–385. <https://www.nature.com/articles/s41560-020-0577-x>.
12. J. Yates, R. Daiyan, R. Patterson, R. Amal, N. Chang. Techno-economic analysis of PV driven Hydrogen electrolysis – key drivers to economic feasibility. Australian PV Institute, 2019. <http://apvi.org.au/solar-research-conference/proceedings-apsrc-2019/>.
13. D. Le Bideau, Ph. Mandin, M. Kim, M. Sellier. Review of necessary thermophysical properties and their sensitivities with temperature and electrolyte mass fractions for alkaline water electrolysis multiphysics modeling. . International Journal of Hydrogen Energy. 2019, Vol. 44, № 10, pp. 4553–4569. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919300175>.
14. V.V. Solovey, M.M. Zipunnikov, V.M. Semikin. Method for Calculating the Feed Water Replenishment Parameters under Electrolysis Process in Electrolyzer. French-Ukrainian Journal of Chemistry, 2020, Vol. 8, № 2, pp. 168–175. <https://doi.org/10.17721/fujcV8I2P168-175>.
15. Rusanov A.V., Solovey V. V., Zipunnikov M. M., Shevchenko A. A. Thermo-dynamics of physico-energy processes in alternative technologies, Monograph in 3 vols, Vol. 1, 2018, pp. 336.

**Зіпунніков Микола Миколайович**<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с. відділу енергетичних машин, ORCID 0000-0002-0579-2962, [zipunnikov\\_n@ukr.net](mailto:zipunnikov_n@ukr.net), тел. +38 066-695-68-72,  
**Внукова Наталія Володимирівна**<sup>2</sup>, завідувач кафедри екології, ORCID 0000-0002-4097-864X, [vnukovany@ukr.net](mailto:vnukovany@ukr.net), тел. +38 057-707-37-97,  
**Котенко Анатолій Леонідович**<sup>1</sup>, провідний інженер відділу енергетичних машин, ORCID 0000-0003-2715-634X, [kotenko19580820@gmail.com](mailto:kotenko19580820@gmail.com), тел. +38 066-454-73-64.

<sup>1</sup>Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України, вул. Комунальна, 2/10, Харків, 61046, Україна.

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна.

#### **Determining the required amount of added solvent (H<sub>2</sub>O) to obtain a given electrolyte density**

**Problem.** The article proposes a method for determining the required amount of water that must be added to obtain a given density of the electrolyte. **Goal.** The method of calculating the volume and mass of water necessary for diluting the electrolyte solution to a given density is considered. **Methodology.** This calculation allows, if necessary, to check the obtained results of measurements of the concentration of the electrolyte and to calculate the given density of the electrolyte taking into account the addition of the solvent (H<sub>2</sub>O). With periodic dosed replenishment of water consumed from the electrolyte, the electrolysis process occurs at a variable concentration of alkali in the electrolyte. **Results.** The proposed dependencies and the calculation method developed on their basis make it possible to increase the efficiency of the electrolysis process by reducing energy costs due to ensuring optimal specific conductivity of the electrolyte at a variable concentration of alkali. **Originality.** The resulting calculation dependence allows both during the development and operation of operating alkaline electrolyzers to calculate the current concentration and the

range of changes in the concentration of alkali in the electrolyte. **Practical value.** The application of the obtained dependence for alkaline electrolyzers with periodic replenishment of feed water and for developed operating electrolyzers allows to analyze the nature of changes in the specific electrical conductivity of the electrolyte, i.e. evaluate the efficiency of the electrolysis process.

**Keywords:** electrolyte density, water, solution, specific electrical conductivity, concentration

**Zipunnikov Mykola Mykolayovych**<sup>1</sup>, Ph.D., senior research associate, department of power machines, ORCID 0000-0002-0579-2962, [zipunnikov\\_n@ukr.net](mailto:zipunnikov_n@ukr.net),

**Vnukova Natalia Volodymyrivna**<sup>2</sup>, Dr., prof., head of the Department of Ecology, ORCID 0000-0002-4097-864X, [vnukovanv@ukr.net](mailto:vnukovanv@ukr.net),

**Kotenko Anatolii Leonidovych**<sup>1</sup>, leading engineer of the department of power machines, ORCID 0000-0003-2715-634X, [kotenko19580820@gmail.com](mailto:kotenko19580820@gmail.com).

<sup>1</sup>Anatolii Pidhornyi institute of power machines and systems of the National academy of sciences of Ukraine, Communal str., Kharkiv, 61046, Ukraine.

<sup>2</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.