

Лаврик Александр Юрьевич, к.т.н.,  
Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург

## ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ ПРОТОНООБМЕННЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ УСТАНОВОК

**Аннотация:** Водородные технологии являются одним из перспективных решений проблем децентрализации и снижения углеродоемкости энергетического сектора. В данной статье представлены результаты обзора современных данных об электропотреблении ряда моделей протонообменных и щелочных электролизёров, что может быть полезно для прикладных исследовательских работ в области водородной энергетики.

**Ключевые слова:** электролизёр, потребление, электроэнергия, водород, энергия.

**Введение.** В последние десятилетия мировой энергетический сектор активно трансформируется как в связи с экологической и климатической повесткой, так и по причине увеличивающегося потребления и поиска новых эффективных источников энергии. Ключевым инструментом сокращения темпов изменения климата является концепция декарбонизации энергетического и производственного комплексов, которую можно осуществить за счёт перехода к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) или альтернативным, ранее не используемым широко видам топлива. К последним можно отнести и водород. Водород является перспективным экологически чистым энергетическим ресурсом, которое может подаваться в топливные элементы для получения электрической энергии химическим путём, в двигатели внутреннего сгорания или горелки котлов. При необходимости водород можно транспортировать, накапливать в кавернах или резервуарах под высоким давлением, а также в абсорбированном состоянии в металлгидридных соединениях. С учётом того, что водород считается вторичным источником энергии, для получения которого требуется затратить энергию, актуальной представляется задача оценки энергопотребления при производстве водорода.

**Получение водорода.** Существует несколько основных схем получения водорода, представленных в таблице 1.

Таблица 1.

Основные схемы получения водорода

№	Схема получения водорода	Исходное сырьё и реагенты	Побочные продукты
1	Паровая конверсия углеводородов (в присутствии катализатора)	Углеводороды, водяной пар, кислород	Сажа, диоксид углерода
2	Парциальное окисление углеводородов		
3	Автотермический риформинг углеводородов		
4	Углекислотная конверсия углеводородов	Углеводороды, углекислый газ, водяной пар	
5	Газификация углей	Угли, водяной пар, кислород	Сажа, диоксид углерода, сера
6	Электролиз	Вода, электрическая энергия	



В настоящее время наибольшее развитие получили технологии риформинга углеводородов, среди которых основное место занимает паровая каталитическая конверсия метана, протекающая по формуле (1):



Синтез-газ, получаемый в результате реакции (1), подвергается, как правило, многоступенчатой адсорбционной очистке, в ходе которой извлекается полезный компонент – водород. Недостатком данного способа получения водорода является получение большого количества парниковых газов, что перечёркивает экологичность водорода как топлива.

Альтернативным способом получения водорода, также получившим достаточное распространение, является электролиз воды. Этот способ, хотя и является более дорогостоящим, не предусматривает получения в качестве побочного продукта углекислого газа, а экологичность получаемого водорода зависит от источника электрической энергии и выбранной технологии электролиза. Реакция электролиза протекает по формуле (2):



Электролиз может осуществляться различным способом. Исторически первыми электролизёрами были щелочные установки, в которых электролиз воды осуществляется в растворе щёлочи. В настоящее время наиболее распространёнными среди электролизёров являются щелочные установки с электролитом раствор KOH [1]. В последние десятилетия активно развивается технология электролиза с применением протонообменных мембран (ПОМ) [2]. Так, в России в 2021 году был разработан первый отечественный электролизёр с протонообменной мембраной Поликом А3 [3].

**Электропотребление электролизёров.** Одним из главных недостатков электролиза воды является относительно большое количество затрачиваемой электроэнергии [4]. Результаты анализа электропотребления различных щелочных и протонообменных электролизёров с производительностью в несколько десятков киловатт сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Удельные энергетические затраты некоторых моделей протонообменных и щелочных электролизёров с производительностью по водороду в десятки и сотни нм<sup>3</sup>/час

Тип	Производитель	Модель	Ном. производительность, нм <sup>3</sup> /ч	Потребление электроэнергии системой, кВт·ч/нм <sup>3</sup>	Источник
ПОМ	Cummins	HyLYZER	200, 250	3,6 – 4,3*	[5]
	H-TEC	ME450 / 1400	210	4,8	[6]
Щелочной	Cummins	Hy-STAT	10 – 100	5,0 – 5,4*	[5, 7]
	Green Hydrogen	A-Series	30, 60	4,5	[8]
	McPhy	McLyzer	20 – 800	4,5	[9]

В таблице 2 указание диапазона удельного расхода электроэнергии не связано с различной производительностью электролизёра, данный диапазон справедлив для всех охваченных электролизёров.

Следует отметить, что методики определения электропотребления электролизных установок у разных производителей могут отличаться, что требует осторожности при использовании значений электропотребления, указанных производителем. Тем не менее, эти данные приносятся для выполнения первичных расчётов и технико-экономических обоснований систем с электролизными установками. Выбор типа электролизёра, а также модели установки обуславливается в общем случае большим количеством факторов.



Преимущества и недостатки электролизёров различных типов подробно рассмотрены в работе [7].

**Заключение.** Анализ электропотребления некоторых выпускаемых промышленностью щелочных и протонообменных электролизных установок показал, что в целом удельное электропотребление двух технологий сопоставимо и составляет в среднем 4-5 кВт·ч/нм<sup>3</sup> произведённого водорода. Результаты данного обзора могут быть полезными для прикладных исследовательских работ в области водородной энергетики при технико-экономической оценке работы электролизных систем.

*Список литературы:*

1. Barbir, F. (2005). PEM electrolysis for production of hydrogen from renewable energy sources. *Solar Energy*, 78 (5), 661-669. DOI: 10.1016/j.solener.2004.09.003.
2. Kato, T., Kubota, M., Kobayashi, N., & Suzuoki, Y. (2005). Effective utilization of by-product oxygen from electrolysis hydrogen production. *Energy*, 30 (14), 2580-2595. DOI: 10.1016/j.energy.2004.07.004.
3. Митюгина, М. М., Петрова, А. Х. (2021). Анализ перспектив внедрения технологий водородной энергии в России. *Вестник Академии знаний*, №5 (46), С. 218-225.
4. Lee, K.-J., Lee, M.-J., & Hwang, H. (2019). High-temperature steam electrolysis combined with methane partial oxidation by solid oxide electrolyzer cells. *Applied Surface Science*, 473, 746–749. DOI: 10.1016/j.apsusc.2018.12.128.
5. Cummins. Hydrogen generation. URL: <https://www.cummins.com/new-power/applications/about-hydrogen> (доступно 10.01.2024).
6. Akal, D., Öztuna, S., & Büyükkakın, M. K. (2020). A review of hydrogen usage in internal combustion engines (gasoline-Lpg-diesel) from combustion performance aspect. *International Journal of Hydrogen Energy*. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.02.001.
7. Yodwong, B., Guilbert, D., Phattanasak, M., Kaewmanee, W., Hinaje, M., & Vitale, G. (2020). AC-DC Converters for Electrolyzer Applications: State of the Art and Future Challenges. *Electronics*, 9 (6), 912. DOI: 10.3390/electronics9060912
8. Green Hydrogen Systems electrolyzers. URL: <https://greenhydrogen.dk/wp-content/uploads/2021/02/A-Series-brochure-120421.pdf> (доступно 10.01.2024).
9. McPhy electrolyzers. URL: <https://mcphy.com/en/equipment-services/electrolyzers/large/> (доступно 10.10.2024).

