

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЭМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА В СОЧЕТАНИИ С ВИЭ

USE OF PEM ELECTROLYZERS FOR DISTRIBUTED HYDROGEN GENERATION IN COMBINATION WITH RESs

А. А. Бохан, В. И. Красовский

A. Bokhan, V. Krasovskiy

*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
Минск, Республика Беларусь
bokhanadal@gmail.com*

*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus*

Водород – это перспективный энергоноситель, обладающий потенциалом стать ключевым элементом в декарбонизации (снижении выбросов парниковых газов, таких как CO₂) труднодоступных секторов, таких как транспорт, промышленность.

Hydrogen is a promising energy carrier with the potential to become a core element in decarbonizing (reducing emissions of greenhouse gases such as CO₂) hard-to-reach sectors such as transportation, industry.

Ключевые слова: ПЭМ электролизеры, ВИЭ, распределенная генерация.

Keywords: PEM electrolyzers, RES, distributed generation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-223-226>

Водородная энергетика – это перспективное направление, которое может внести значительный вклад в более чистое и устойчивое будущее.

Преимущество водорода как энергоносителя заключается в его высокой энергетической плотности (120 МДж/кг) по сравнению с традиционными топливами, такими как дизельное топливо (45,5 МДж/кг) и бензин (45,8 МДж/кг) [5]. Таким образом водород может стать связующим звеном между ныне разобщенными рынками транспорта и ВИЭ.

Водород может храниться в течение длительных периодов времени, и практически не требует обслуживания, что выделяет его на фоне аккумуляторных батарей. Долгосрочное хранение водорода станет особенно важным в будущем, после достижения нулевых выбросов, когда произойдет рост избыточного производства электроэнергии из ВИЭ (солнечная, ветровая). Запасенный водород может использоваться для балансировки спроса и предложения на электроэнергию.

Существующая инфраструктура природного газа, такая как заправки и трубопроводы, может быть использована для транспортировки, хранения и распределения водорода. В нынешнем состоянии использоваться может до 12% от общего объема сетей [2]. Оставшаяся часть потребует изменений конструкции.

Уже сегодня технология электролиза водорода является устоявшейся и доступной на коммерческом рынке. В мире уже существует множество компаний, которые производят и продают электролизеры.

В 2020 году в мире было произведено 120 млн тонн водорода, что составляет 4% от общего объема потребляемой энергии. Ожидается, что в будущем производство водорода будет значительно расти, что связано с растущим спросом на экологически чистые энергоисточники.

Европейский союз в настоящее время использует около 9,7 млн тонн водорода ежегодно, из которых 30% используется в нефтеперерабатывающей промышленности при проведении процессов гидроочистки, гидроизомеризации, гидрокрекинга [3]. Около 95-96% текущего глобального производства водорода осуществляется через процессы парового риформинга метана (паровой конверсии) и газификации угля, которые приводят к 1,8% глобальных выбросов CO₂. Остальные 4-5% производятся с использованием технологии водородной электролиза, обычно с использованием традиционных источников электроэнергии. Согласно отчету Net Zero Emissions [1], водородное топливо будет составлять 30% от глобального конечного энергопотребления в 2050 году.

На настоящий момент наиболее экономически выгодным считается производство водорода из ископаемого сырья. Снизить уровень выбросов углерода в производственных отраслях можно за счет водорода, полученного с использованием технологии улавливания и хранения углекислого газа, или также электролиза воды при помощи ВИЭ.

Электролизеры – это устройства, преобразующие электричество и воду в водород и кислород. В процессе электролиза на каждый 1 грамм водорода производится 8 граммов кислорода. Этот кислород может быть использован в различных промышленных процессах или выпущен в атмосферу.

Три основных типа электролизеров – это щелочные электролизеры, твердооксидные электролизеры и электролизеры с протонообменной электролитной мембраной (ПЭМ). Основные различия между этими тремя типами электролизеров заключаются в используемых электролитах и диапазоне температур, при которых они работают.

Щелочные электролизеры – это наиболее коммерчески используемая технология электролиза, обычно применяемая в крупномасштабной промышленности. На сегодня она значительно дешевле по сравнению с другими технологиями.

ПЭМ электролизер использует твердую полимерную электролитическую мембрану и особенно полезен для интеграции с ВИЭ из-за его эффективности в динамической работе, т. е. очень быстрого реагирования на изменения тока в порядке миллисекунд. ПЭМ электролизеры компактны. Отдельные ПЭМ электролизеры могут быть соединены последовательно для увеличения мощности. Они способны работать при более низких напряжениях, более высоких плотностях тока, имеют меньший углеродный след по сравнению с щелочными. Основными недостатками ПЭМ являются высокая стоимость материалов для мембраны, феномен перекрестной проницаемости H_2 и O_2 через мембрану, влияющий на чистоту водорода и усиливающийся с повышением давления, а также более высокая скорость деградации. ПЭМ -электролизеры уже распространены на рынке. Изначально применение ПЭМ -электролизера было сосредоточено на системах малого масштаба, однако сейчас ситуация меняется. Например, Cummins (бывший Hydrogenics) установили 25 МВт (5х5 МВт) в Германии для производства водорода для железнодорожных путей.

Твердооксидные электролизеры хоть и обещают стать на 20-30% более энергоэффективным решением, чем существующие щелочные и ПЭМ электролизеры, но на данный момент всё еще остаются на сравнительно ранних стадиях разработки.

Прямой электролиз морской воды (DES) также является возможным методом, используя широко известную технологию в химической промышленности, а именно хлор-щелочной электролиз. В этом процессе морская вода выступает как электролит. Сейчас стоимость оценивается слишком высокой, примерно 6000 долларов США/кВт с затратами на эксплуатацию и обслуживание. Это обусловлено опреснением воды, и, следовательно, на данный момент нет подобных коммерческих производств.

Основные компоненты:

Анод: катализатор, где происходит окисление водорода.

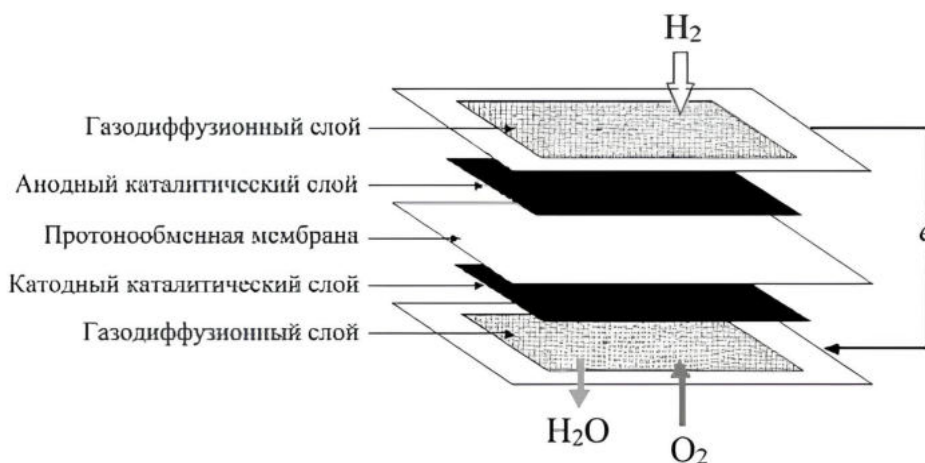
Катод: катализатор, где происходит восстановление водорода.

Протонообменная мембрана: селективно пропускает протоны (H^+), но блокирует электроны.

Электроды: проводят электрический ток.

Электролит: раствор, содержащий ионы H^+ .

Газодиффузионный слой: необходим для осуществления токосъема, подвода исходных реагентов и отвода продуктов реакции.

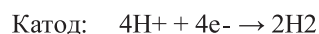
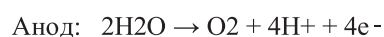


Принципиальное устройство ПЭМ электролизера

Процесс электролиза:

К электродам подводится постоянный ток. На аноде происходит окисление молекул воды, в результате чего образуются протоны (H^+), электроны (e^-) и кислород (O_2). Протоны (H^+) мигрируют через протонообменную мембрану к катоду. На катоде происходит восстановление протонов (H^+) с участием электронов (e^-), в результате чего образуется водород (H_2). Водород и кислород выводятся из электролизера через трубки.

Реакции:



Факторы, влияющие на эффективность:

Температура, давление, сила тока: их повышение увеличивает скорость реакции и соответственно выход водорода, но снижает эффективность.

Преимущества ПЭМ электролизеров:

Высокая эффективность: до 80%.

Компактность: занимают мало места.

Быстрый старт: могут начать работу без каких-либо подготовительных операций.

Модульность: могут быть легко масштабированы.

Недостатки ПЭМ электролизеров:

Высокая стоимость: из-за использования дорогих материалов, особенно титана (из-за коррозионной стойкости).

Чувствительность к примесям: примеси в воде могут засорить конструкцию отложениями и вывести протонообменную мембрану из строя. Но при должном качестве воды и электроснабжения расчетный срок службы составляет около 10 000 часов работы.

Одним из главных преимуществ ПЭМ электролизеров является их компактность и модульность. ПЭМ электролизеры состоят из модулей (ячеек), которые можно легко добавлять или убирать, что позволяет масштабировать производство водорода в соответствии с потребностями. Они занимают значительно меньше места, чем традиционные электролизеры, что делает их идеальными для использования в ограниченных пространствах. ПЭМ электролизеры относительно просты в установке и не требуют сложной инфраструктуры.

Благодаря своей компактности ПЭМ электролизеры могут использоваться для водорода для заправки автомобилей, автобусов, грузовиков и других транспортных средств; для использования в удаленных местах, где нет доступа к электросети; для обеспечения бесперебойного питания в случае отключения электроэнергии.

Традиционный электролизер может занимать площадь в несколько квадратных метров. ПЭМ электролизер занимает площадь всего несколько квадратных дециметров.



Сравнение размеров

Из-за значительно меньших потерь при транспортировке водорода по сравнению с транспортировкой электроэнергии по ЛЭП, возможно строительство заводов по производству водорода в отдаленных от потребителей местах. Одним из самых амбициозных проектов в этой области является водородно-энергетический кластер на основе Пенжинской приливной электростанции [4].

В рамках проекта планируется возведение завода по производству водорода методом электролиза воды и его сжижению, а также завода по производству аммиака. Для обеспечения электроэнергией завода предполагается строительство приливной электростанции (ПЭС) в Пенжинской губе Охотского моря и ветровой электростанции (ВЭС) для бесперебойного снабжения электроэнергией инфраструктуры.

Потенциальная мощность Пенжинской ПЭС оценивается на уровне до 110 ГВт, а мощность первой очереди предварительно составит 300 МВт. Предусматривается транспортировка сжиженного водорода специализированными судами и аммиака с использованием специализированных судов-газовозов. Для обеспечения отгрузки продукции планируется создание высокоширотного морского терминала в заливе Корфа. Основными рынками сбыта рассматриваются страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

Для уменьшения сроков окупаемости проект планируется реализовывать в несколько этапов:

На первом этапе кластер позволит ежегодно производить около 17 500 тонн сжиженного водорода или около 115 000 тонн аммиака. Планируемый срок реализации первой очереди кластера - 2034 год, при этом начало отгрузки потребителям продукции, полученной с использованием электроэнергии от ветровых электростанций, предполагается с 2026 года.

Второй этап будет включать в себя строительство 2-й очереди Пенжинской приливной электростанции мощностью 21,4 ГВт, а также 2-й очереди ветровой электростанции мощностью до 1 ГВт. Она позволит ежегодно производить около 1,2 млн. тонн сжиженного водорода или около 7,7 млн. тонн аммиака.

За счёт меньшей стоимости за единицу по сравнению с традиционными щелочными электролизерами, ПЭМ электролизеры могут получить широкое распространение среди круга людей, желающих обеспечить свой дом

и транспортные средства надёжным, долговечным и экологически чистым источником энергии - водородом. Такие системы как Gen-3, разработанная компанией Powerhouse Energy, которая представляет собой ПЭМ электролизер, интегрированный с солнечными панелями, могут утсанавливаться на любом загородном участке. Это позволит начать распространение “зелёного” водорода без крупномасштабного строительства и больших инвестиций со стороны государства или компаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международное энергетическое агентство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZero2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf. – Дата доступа: 20.02.2024.
2. Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review / М. Götz [и др.] – World Renewable Energy Network, 2016.
3. НефтеМагнат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.neftemagnat.ru/enc/298>. – Дата доступа: 20.02.2024.
4. H2 Чистая Энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://h2ce.ru/projects/detail/vodorodno-energeticheskij-klaster-na-osnove-penzhinskoj-prilivnoj-elektrostantsii> – Дата доступа: 20.02.2024.
5. Rocky Mountain Institute [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rmi.org/run-on-less-with-hydrogen-fuel-cells/> – Дата доступа: 20.02.2024.