

Повышение эффективности работы и безопасность эксплуатации водородного топливного элемента

Н.Е. Кручинина, декан, зав. кафедрой, д-р техн. наук, профессор¹

А.В. Десятов, д-р техн. наук, профессор¹

Д.Ю. Графов, ведущий инженер¹

Р.В. Якушин, старший преподаватель¹

К.А. Кутербеков, д-р техн. наук, профессор²

Т.Н. Нурахметов, д-р техн. наук, профессор²

¹Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, г. Астана

e-mail: avdesyatov@mail.ru

Ключевые слова:
топливный элемент,
водород.

Актуальность исследований по упрощению конструкции и оптимизации режимов эксплуатации водородных топливных элементов (ТЭ) весьма высока. Безопасная работа ТЭ требует проработки таких вопросов, как способ хранения водорода, особенности герметизации конструкции и режим протекания массообменных процессов. В результате проведенных исследований получены вольтамперные характеристики мембранно-электродного блока при различных режимах подачи водорода и степени увлажненности воздуха. Показано изменение показателей мощности в зависимости от предварительного увлажнения ионообменной мембраны.

1. Введение

В настоящее время водородная энергетика рассматривается в качестве одного из основных технологических направлений энергетики будущего. К основным проблемам, препятствующим повсеместному внедрению устройств преобразования энергии водорода в электрическую (водородных топливных элементов), относятся высокая стоимость комплектующих и риски, связанные с использованием водорода. Безопасность эксплуатации водородных топливных элементов (ТЭ) напрямую связана с эффективностью технологии хранения водорода, конструктивными особенностями установки и выбранным режимом работы. Актуальность исследований по упрощению конструкции и оптимизации режимов эксплуатации водородных ТЭ весьма высока по причине необходимости соблюдения баланса между высокой эффективностью работы установки и соответствием нормам безопасности эксплуатации оборудования подобного класса [1, 2].

ТЭ позволяет напрямую превращать энергию водородного топлива в электрическую энергию. При оптимизации режима работы всей установки необ-

ходимо учитывать, что электрохимическая реакция между водородом и кислородом протекает на электродах мембранно-электродного блока (МЭБ), состоящего из двух электродов с нанесенными на них каталитическими слоями и разделяющей их протонообменной мембраной [3].

Существуют общие требования, предъявляемые к МЭБ водородного ТЭ. Они предусматривают высокую каталитическую активность катализатора, низкое диффузионное сопротивление каталитических слоев, оптимальную структуру с развитой системой транспортных пор, обеспечивающую большую площадь областей межфазных границ. В части ТЭ требования касаются минимизации их электрического сопротивления, улучшения газообмена в каталитических слоях и оптимизации водного обмена с окружающей средой. Основные характеристики МЭБ — максимальная удельная мощность и его стабильность — обусловлены свойствами компонентов, из которых он состоит, и условиями работы.

Специфика работы ТЭ на основе протонообменной мембраны заключается в необходимости присутствия

в каталитическом слое воды, обеспечивающей образование двойного электрического слоя и протонную проводимость. Однако избыток воды резко снижает эффективный коэффициент диффузии газов, а также возможность их эффективной адсорбции на поверхности катализатора, что приводит к падению плотности тока. По этой причине при разработке конструкции и режима эксплуатации топливного элемента следует уделять большое внимание водному балансу [4, 5].

В данном экспериментальном исследовании поставлена задача установить степень влияния режимов функционирования МЭБ, а также процесса самоувлажнения мембраны на электрические характеристики для оптимизации работы ТЭ с применением мембраны МФ-4 СК.

2. Экспериментальные исследования

Работа проводилась на лабораторном образце электрохимического устройства переработки водорода при различных режимах работы. Состав МЭБ представлял собой полимерную протонообменную мембрану МФ-4 СК площадью 1 см^2 с нанесенными каталитическими слоями $1,5 \text{ мгPt/см}^2$. Основными варьируемыми параметрами были влажность подаваемого воздуха и режим прохождения водорода через ТЭ (проточный, тупиковый).

Условия проведения эксперимента:

- режим I (воздух с относительной влажностью 60%; водород при атмосферном давлении с относительной влажностью 5%; температура $24 \text{ }^\circ\text{C}$);
- режим II (воздух с относительной влажностью 60%; водород при избыточном давлении 0,05 бар с относительной влажностью 5%; температура $24 \text{ }^\circ\text{C}$);
- режим III (воздух с относительной влажностью 95%; водород при атмосферном давлении с относительной влажностью 5%; температура $24 \text{ }^\circ\text{C}$);
- режим IV (воздух с относительной влажностью 95%, водород при избыточном давлении 0,05 бар с относительной влажностью 5%; температура $24 \text{ }^\circ\text{C}$).

Время установления стационарных значений тока составляло 30–90 мин.

МЭБ исследовали методами разрядных кривых с применением прибора электронной нагрузки. На рис. 1 приведено семейство вольтамперных кривых, полученных при различных сочетаниях режима подачи водорода и степени увлажнения воздуха. Дополнительное увлажнение воздуха и избыточное давление на водородной магистрали позволили получить высокие результаты вольтамперных характеристик МЭБ (рис. 1, кривая 4).

При анализе полученных разрядных кривых можно выделить определенные характеристические

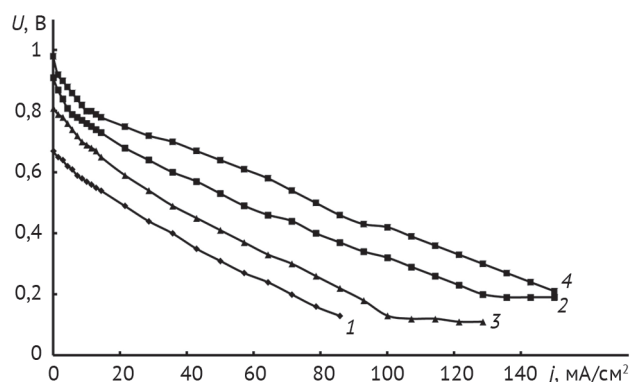


Рис. 1. Вольтамперные характеристики ТЭ с мембраной МФ-4 СК: 1 – режим I; 2 – режим II; 3 – режим III; 4 – режим IV

участки (рис. 1). Резкое падение кривых в первой части показывает необратимые потери напряжения, связанные со смешанным потенциалом в результате необратимой поляризации, а также по причине активационной поляризации. Далее следует участок условно пологого снижения напряжения, называемый областью омического падения напряжения в результате омической поляризации. Последним участком вольтамперной характеристической кривой является область концентрационного падения напряжения в результате концентрационной поляризации [5, 6].

Наряду с результатами измерения вольтамперных характеристик получены данные мощностной стабильности МЭБ при исследуемых режимах испытаний. Наибольшую мощностную устойчивость МЭБ показал при режимах (II, IV) избыточного давления газа в водородной магистрали и 95% увлажнении подаваемого воздуха (рис. 2, кривые 2, 4). Создание избыточного давления обеспечивает лучшее проникновение газа к поверхности катализатора и повышает степень адсорбции. Интенсивное увлажнение в соче-

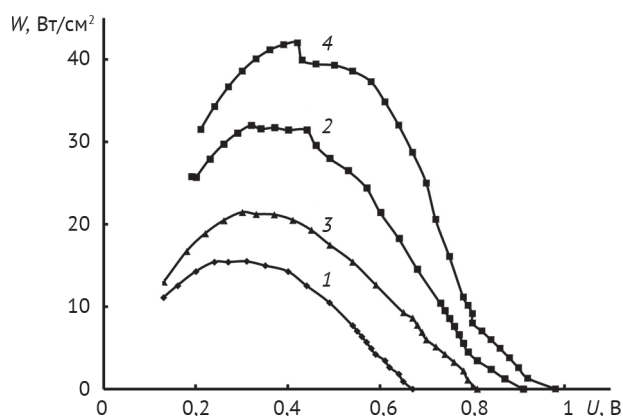


Рис. 2. Мощностные характеристики водородного топливного элемента при различных режимах: 1 – режим I; 2 – режим II; 3 – режим III; 4 – режим IV

тании со свободным протоком водорода не привело к значительному улучшению вольтамперных характеристик (ВАХ) и мощности (рис. 2, кривая 3).

Для повышения ионной проводимости полимерной мембраны за счет самоувлажнения в течение 90 мин до проведения испытания на ТЭ был установлен режим замкнутой цепи (короткого замыкания). При работе ТЭ в таком режиме поверхность катализатора, нанесенного на мембрану, подвергалась самоочистке. На рис. 3, 4 представлены вольтамперные кривые и графики мощности, полученные после применения режима короткого замыкания с последующим свободным током водорода (рис. 3, 4, кривые 2) и избыточным давлением (рис. 3, 4, кривые 1).

Показано изменение характеристик работы МЭБ в соответствии с задаваемыми параметрами влажности и режима пропускания водорода.

Исследования показали высокую чувствительность протонообменной мембраны МФ-4СК к организации водного массообмена и адсорбционной способности каталитического слоя МЭБ. Влияние режима подачи газов существенным образом отра-

зилось на мощностных и вольтамперных характеристиках работы ТЭ. Процессы подготовки мембраны предварительным самоувлажнением и повышением ионной проводимости способствовали общему росту максимальных значений ВАХ работы МЭБ, что было отражено на графиках (рис. 3, 4).

3. Заключение

Полученные результаты влияния характеристик газов и увлажненности протонопроводящей мембраны представляют интерес как пример чувствительности МЭБ к параметрам организации работы ТЭ. Переувлажнение МЭБ снижает эффективность адсорбции газов на поверхности катализатора, однако избыточное противодавление газов позволяет снизить влияние влажности. Режимы работы ТЭ, использующие повышенное давление в газовых магистралях установки, дают возможность интенсифицировать процессы массопереноса на поверхности МЭБ и повысить эффективность работы. Однако существуют риски, связанные с необходимостью тщательного контроля герметичности соединений и ячейки.

Литература

1. Кириллов Н.Г. Водородная энергетика: проблемы внедрения и новые российские технологии //Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» АЭЭ. 2006. Т. 3. № 35. С. 11–17.
2. Филин Н.В. и др. Некоторые вопросы безопасности при хранении водорода и работа с ним // Цинтихимнефтемаш. 1971. № 5. С. 14–17.
3. Багров В.В., Графов Д.Ю., Десятов А.В., Колесников В.А., Кутербекоев К.А., Нурахметов Т.Н. Повышение эффективности твердополимерных топливных элементов энергоустановок для распределенной энергетики // Надежность и безопасность энергетики. 2013. № 4 (23). С. 78–80.
4. Нечитайлов А.А., Глебова Н.В., Кошкина Д.В., Томасов А.А., Зеленина Н.К., Терукова Е.Е. Особенности функционирования мембранно-электродного блока в составе воздушно-водородного топливного элемента // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39, № 17. С. 17–26.
5. Добровольский Ю.А., Волков Е.В., Писарева А.В., Федотов Ю.А., Лихачев Д.Ю., Русанов А.Л. Протонообменные мембраны для водородно-воздушных топливных элементов // Рос. хим. общество им. Д.И. Менделеева. 2006. Т. L. № 6. С. 95–104.

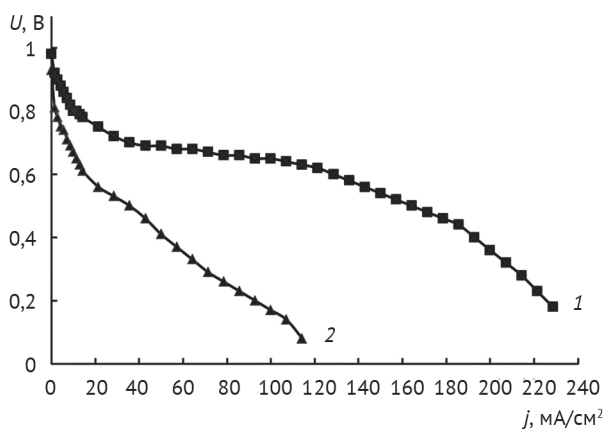


Рис. 3. Вольтамперные характеристики ТЭ с мембраной МФ-4 СК после установления режима короткого замыкания: 1 – режим IV; 2 – режим I.

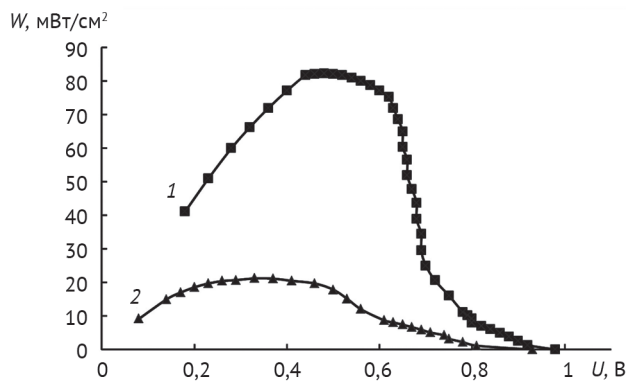


Рис. 4. Мощностные характеристики водородного топливного элемента после установки режима короткого замыкания: 1 – режим IV; 2 – режим II

6. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки: состояние развития и проблемы //

International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE). 2004. V. 10, N 18. P. 8–14.

References

1. Kirillov N.G. Hydrogen energy: challenges of implementing new Russian technology. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology ISJAEE*, 2006, v. 3, i. 35, pp. 11–17 (In Russian).
2. Filin N.V. Some of the safety issues when the hydrogen storage and handling. *Cintihimneftemash*. [Central Institute for Scientific and technical Information and Technical-economic Research on Chemical and Oil Engineering], 1971, v. 5, pp. 14–17 (in Russian).
3. Bagrov V.V., Grafov D.Ju., Desjatov A.V., Kolesnikov V.A., Kuterbekov K.A., Nurahmetov T.N. Improving the efficiency of the solid polymer fuel cell power plants for distributed power generation. *Nadezhnost' i bezopasnost' jenergetiki* [The reliability and security of energy], 2013, v. 4, i. 23, pp. 78–80 (in Russian).
4. Nechitailov A.A., Glebova N.V., Koshkina D.V., Tomasov A.A., Zelenina N.K., Terukova E.E. Specific features of operation of a membrane-electrode assembly of an air-hydrogen fuel cell. *Technical Physics Letters*, 2013, v. 39, i. 9, pp. 762–766 (In Russian).
5. Dobrovolskij Ju.A., Volkov E.V., Pisareva A.V., Fedotov Ju.A., Lihachev D.Ju., Rusanov A.L. Proton-exchange membranes for hydrogen-air fuel cells. *Ros. Him. Obshhestvo im. D.I. Mendeleeva*. [The Russian chemical society named after D. Mendeleev], 2006, v. L, i. 6, pp. 95–104 (in Russian).
6. Korovin N.V. Fuel cells and electrochemical power plant. The present state and problems of the art of development. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, 2004, v. 10, i. 18, pp. 8–14 (In Russian).

Improving the Efficiency and Safety of Operation of the Hydrogen Fuel Cell

N.E. Kruchinina, Dean, Head of the Department, Doctor of Technical Sciences, Professor, Mendeleev Russian University of Chemistry and Technology, Moscow

A.V. Desyatov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Mendeleev Russian University of Chemistry and Technology, Moscow

D.Yu. Grafov, Leading Engineer, Mendeleev Russian University of Chemistry and Technology Moscow

R.V. Yakushin, Senior Lecturer, Mendeleev Russian University of Chemistry and Technology, Moscow

K.A. Kuterbekov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Gumilyov Eurasian National University Astana, Kazakhstan

T.N. Nurakhmetov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Gumilyov Eurasian National University Astana, Kazakhstan

The relevance of research to simplify the design and optimization of operating modes of the hydrogen fuel cell (FC) is very useful. It requires consideration of issues such as the method of hydrogen storage, especially hermetization of setting and the mode of occurrence of mass transfer processes to safe work fuel cell.

The current-voltage characteristics of the membrane-electrode unit in different modes of hydrogen supply and the degree of moisture of the air have been obtained. The article shows the indicators of change in power depending on the pre-hydration ion exchange membrane.

Keywords: fuel cell, hydrogen.

В России запустили комплекс плазменной переработки радиоактивных отходов

Первый российский комплекс плазменно-пиролитической переработки твердых отходов атомных электростанций был установлен в Нововоронежской АЭС. Возможности комплекса — около 250 кг радиоактивных отходов в час и более месяца безостановочной работы, сообщает cont.ws

Первые планы по установке такого комплекса появились в Росатоме в 2007 году. Атомная электростанция Нововоронежа была выбрана не случайно — она запущена в 1964 году, и за все прошедшие десятилетия в хранилищах станции сохранилось много отходов.

Разработкой такого комплекса занимались в НПО «Радон». Технология работает по принципу переработки жидких отходов в концентрат соли при помощи установок глубокого упаривания с температурой в 1800 °С. Этот

концентрат вываливается в ёмкостные бочки из металла, где при охлаждении превращается в кристаллическую стеклообразную структуру.

Из тысячи тонн радиоактивной воды после переработки получается одна упакованная бочка. Как утверждают инженеры, это значительно упростит и обезопасит хранение опасных отходов — в таком виде охлажденный соляной концентрат может сохраняться до трех веков. За столько лет большинство смертельных для человека изотопов становятся безопасными, а сами бочки нет особой необходимости сохранять в специальных хранилищах.

Сейчас в Росатоме думают над тем, чтобы оборудовать все российские АЭС подобной технологией переработки радиоактивных отходов.

Источник: сайт GreenEvolution.ru