

Ресурсные испытания низкотемпературного топливного элемента с воздушным охлаждением: эксперимент и моделирование

Герасимова Екатерина Владимировна, Бельмесов А.А., Галин М.З., Чуб А.В., Шмыглева Л.В., Левченко А.В.

Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, Черноголовка, Россия

Аннотация

Низкотемпературные водородно-воздушные топливные элементы с протонообменной мембраной (ПОМТЭ) – это перспективные источники тока[1]. Их опытная эксплуатация началась в различных мобильных приложениях: в носимых устройствах, беспилотных летательных аппаратах[2], автомобилях[3] и др. На данный момент сегмент различных дронов растет взрывными темпами и для обеспечения питанием таких устройств требуются энергоустановки мощностью до единиц киловатт[2]. Известно, что в данном сегменте по мощности наиболее эффективна конструкция ПОМТЭ с открытым катодом и воздушным охлаждением [1]. Одной из основных характеристик топливных элементов, помимо мощностных, важных для их практического применения, является ресурс работы. Так, разные коллективы работают как над совершенствованием всех составных частей ПОМТЭ[4,5,6] так и над оптимизацией работы батарей ПОМТЭ (БТЭ)[7,8]. При этом, лишь единичные работы направлены на исследование ресурса БТЭ с открытым катодом и причин деградации БТЭ[9, 10,11,12] в рабочих условиях. Целью данной работы являлось установление причин и механизма деградации низкотемпературных водородно-воздушных топливных элементов с открытым катодом с воздушным охлаждением.

В ходе работы для проведения ресурсных испытаний собрана БТЭ с воздушным охлаждением из 6 МЭБ размером 180×45 мм. При этом один из МЭБ был модифицирован введением двух никелевых сеток для проведения исследований методом импедансной спектроскопии. В качестве биполярных пластин была использована титановая гофра с покрытием [13]. Регистрация вольтамперных характеристик БТЭ и спектров импеданса модифицированного МЭБ производились после 6 часов (разгона батареи и ее выхода на номинальный режим работы), после 77 ч, 177 ч и 455 ч работы. Между измерениями БТЭ работала непрерывно в потенциостатическом режиме при напряжении 3.6 В. По окончании ресурсных испытаний и разборки батареи, проведена оценка состояния отдельных мембранно-электродных блоков: определение удельной площади электрохимически активной поверхности (ЭХАП), EDX-микроанализ, определение толщин

каталитических слоев и размера частиц катализатора методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Анализ влияния деградации каждого компонента батареи проводился методом математического моделирования в ПО COMSOL Multiphysics. Создана двумерная модель мембранно-электродного блока топливного элемента, отвечающая исходному состоянию батареи и после ее деградации.

В результате ресурсных испытаний за 455 часов работы БТЭ мощность уменьшилась от изначальных 118 Вт до 87 Вт, что соответствует потери в 27%. Проведенные в данной работе ресурсные испытания БТЭ в условия окружающей среды показали, что за 455 часов работы наибольшей скорости деградации подвержены именно анодные каталитические слои, а именно значительное уменьшение содержания иономера (на 68% по сравнению с исходными слоями) и увеличение среднего размера частиц платины (на 24%), приводящее, в свою очередь, к снижению ЭХАП платины на 41%. В то время как для катодных каталитических слоев эти показатели почти в два раза ниже. Методом импедансной спектроскопии показано, что в ходе испытаний проводимость мембраны уменьшилась на 25% и произошел рост поляризационного сопротивления. Построенная 2D-модель единичного мембранно-электродного блока до и после 455-часовой деградации достаточно точно описывает изменение вольтамперных характеристик модифицированной МЭБ в исследуемой БТЭ. Анализ результатов моделирования показал, что несмотря на значительную деградацию анодного каталитического слоя, основной вклад в уменьшение вольтамперных характеристик БТЭ вносит омическое падение напряжения на мембране и каталитическом слое катода.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФИЦ ПХФ и МХ РАН (№ гос. регистрации 124013000692-4 и 122112100037-4).

1Бельмесов А. А. и др. Твердополимерные топливные элементы: взаимосвязь " процессы– материалы–конструкционные решения" в современных тенденциях //Russian Chemical Reviews. – 2024. – Т. 93. – С. 6.

2Shen Z. et al. A Review on Key Technologies and Developments of Hydrogen Fuel Cell Multi-Rotor Drones //Energies. – 2024. – Т. 17. – №. 16. – С. 4193.

3Kurnia J. C. et al. Progress on open cathode proton exchange membrane fuel cell: Performance, designs, challenges and future directions //Applied Energy. – 2021. – Т. 283. – С. 116359.

4Pukha V. E. et al. Corrosion-resistant nanostructured carbon-based coatings for applications in fuel cells based on bipolar plates //Vacuum. – 2023. – Т. 218. – С. 112643.

5Golubkov S. S. et al. Short-side-chain perfluorinated polymeric membranes annealed at high temperature: Structure, conductivity, and fuel cell performance //International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Т. 87. – С. 431-441.

6Belenov S. et al. New Approach to Synthesizing Cathode PtCo/C Catalysts for Low-Temperature Fuel Cells //Nanomaterials. – 2024. – Т. 14. – №. 10. – С. 856.

-
- 7Chang H. et al. Experimental study on the thermal management of an open-cathode air-cooled proton exchange membrane fuel cell stack with ultra-thin metal bipolar plates //Energy. – 2023. – Т. 263. – С. 125724.
- 8Faddeev N. A. et al. Performance Analysis of a Proton-Exchange Membrane Fuel Cell Battery: The Effect of Ambient Temperature //Russian Journal of Electrochemistry. – 2024. – Т. 60. – №. 3. – С. 176-180.
- 9Silva R. A. et al. Characterization of MEA degradation for an open air cathode PEM fuel cell //international journal of hydrogen energy. – 2012. – Т. 37. – №. 8. – С. 7299-7308.
- 10Vichard L. et al. Long term durability test of open-cathode fuel cell system under actual operating conditions //Energy Conversion and Management. – 2020. – Т. 212. – С. 112813.
- 11Pahon E. et al. Impact of the temperature on calendar aging of an open cathode fuel cell stack //Journal of Power Sources. – 2021. – Т. 488. – С. 229436.
- 12Luo L. et al. Rapid degradation characteristics of an air-cooled PEMFC stack //International Journal of Energy Research. – 2020. – Т. 44. – №. 6. – С. 4784-4799.
- 13Галин М.З., Герасимова Е.В., Евщик Е.Ю., Левченко А.В. «Защитное покрытие для титановых пластин и способ его нанесения» // Патент RU 2830566 С1. Дата регистрации 21.11.2024. Заявка № 2023135380 от 27.12.2023.