

# Применение топливных элементов с протонообменной мембраной

## Беляев П. В.<sup>1</sup>, Подберезкин Д. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Беляев Павел Владимирович / Belyaev Pavel Vladimirovich - кандидат технических наук, доцент;

<sup>2</sup>Подберезкин Дмитрий Анатольевич / Podberезkin Dmitrii Anatolevich – магистрант,  
кафедра электрической техники,  
факультет элитного образования и магистратуры,  
Омский государственный технический университет, г. Омск

**Аннотация:** в статье рассматриваются топливные элементы различной химической природы. Дана упрощенная классификация топливных элементов, кратко проанализированы достоинства и недостатки каждого типа, их характеристики и принцип действия. Определены наиболее эффективные для конкретных областей электроснабжения.

**Ключевые слова:** топливный элемент, топливная ячейка, водород, электрохимическая реакция, протонообменная мембрана.

В настоящее время энергия является своего рода источником жизни для современного общества. Логично предположить, что с прогрессом общества растет и потребность в увеличении производства энергии [1-2]. На данный момент эта потребность чаще всего удовлетворяется посредством использования ископаемых источников энергии, таких как нефть, газ, уголь и др. [3]. Но это всего лишь временное решение, так как выбросы при переработке данного топлива оказывают огромное негативное воздействие на окружающую среду, да и сам топливный ресурс ограничен.

Решение этих проблем с помощью возобновляемых источников энергии также затруднительно из-за ряда их недостатков, таких как низкий КПД, привязанность к особым природным условиям, необходимым для нормальной работы источника, сложности при интегрировании их в большие энергосистемы.

Решением проблемы энергоснабжения вполне могут стать топливные элементы. Так как они обладают широкой областью применения и по сравнению с другими преобразователями энергии отличается рядом преимуществ. К ним относятся высокий суммарный КПД и простота конструкции.

Приоритетное значение имеет их экологичность и практически отсутствие вредных выбросов в окружающую среду.

Топливный элемент представляет собой электрохимическое устройство, схожее с гальваническим элементом. Однако разница между ними в том, что в топливный элемент вещества для протекания электрохимической реакции подаются, а не содержатся в нем изначально. Он способен функционировать до тех пор, пока не прекратится подача топлива и окислителя от внешнего источника.

Принципиальная схема топливного элемента показана на рисунке 1.

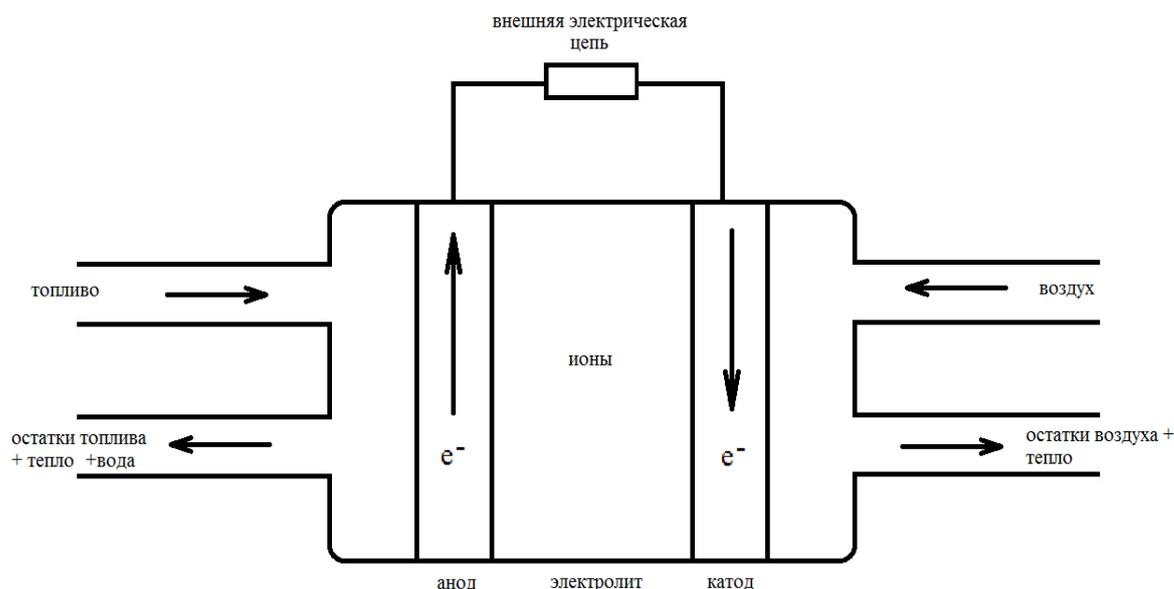


Рис. 1. Принципиальная схема топливного элемента

Атомы топлива, поступающего на анод, делятся на протоны и электроны. Электроны двигаются по внешней цепи к катоду, создавая постоянный электрический ток. Протоны двигаются к катоду, но проходя через электролит. На катоде протоны и электроны соединяются с окислителем с образованием воды. Продуктами данной реакции являются тепло и водяной пар.

В настоящее время разработаны и активно используются несколько типов топливных элементов:

- щелочные топливные элементы (Alkaline Fuel Cells, AFC);
- топливные элементы с протонообменной мембраной (Proton Exchange Membrane Fuel Cells, PEMFC);
- топливные элементы на основе ортофосфорной (фосфорной) кислоты (Phosphoric Acid Fuel Cells, PAFC);
- топливные элементы на основе расплавленного карбоната (Molten Carbonate Fuel Cells, MCFC);
- твердотельные оксидные топливные элементы (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC) [4].

Рассмотрим топливные элементы с протонообменной мембраной как наиболее перспективные на настоящий момент. Этот тип топливных элементов относится к низкотемпературным элементам (рабочая температура до 100°C). К особенностям топливных элементов с протонообменной мембраной относятся высокая плотность энергии и быстрое изменение производительности. В настоящее время эффективность некоторых PEMFC доходит до 70–80 %, т. е. примерно в два раза эффективнее двигателя внутреннего сгорания, если использовать выделяемое при работе тепло.

Сочетание высокой энергетической плотности, низкой температуры и практически отсутствия выбросов загрязняющих веществ дает тенденцию для расширения использования топливных элементов с протонообменной мембраной в автомобилях и для жилых помещений.

Ресурс работы такого элемента составляет 20 000 часов в стационарных и 5000 часов в мобильных установках [5].

Ячейка данного топливного элемента (Единичная ячейка PEMFC показана на рисунке 2) скомпонована из пакета последовательно собранных мембран и электродов, сжатых через уплотнительные элементы силовыми пластинами с токосъемными элементами. На концах ячейки расположены концевые пластины (графитовые электроды) с газовыми каналами.

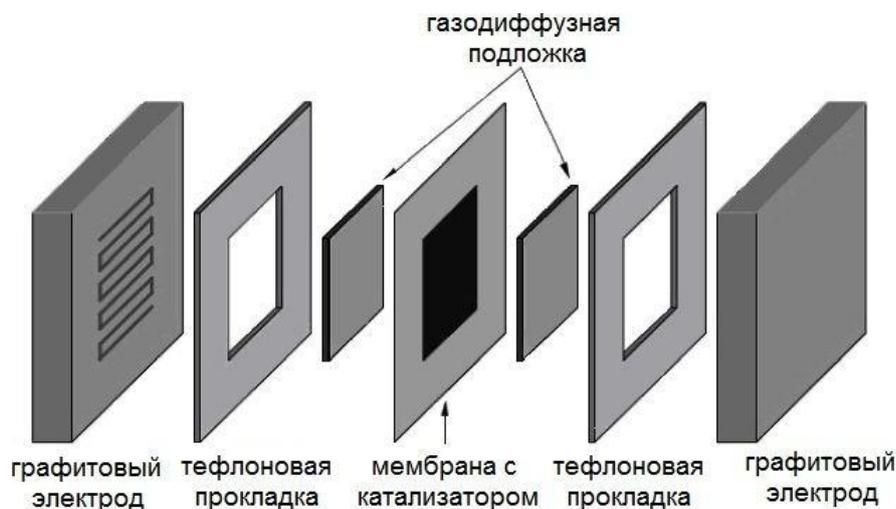


Рис. 2. Единичная ячейка PEMFC [6]

Замена жидкого электролита протонообменной мембраной значительно упростила технологию изготовления всей конструкции. Но вместе с этим к ним выдвигаются особые требования. Мембраны должны обладать высокой ионной проводимостью, малой газопроницаемостью, высокой механической прочностью и отсутствием электронной проводимости.

Толщина мембраны составляет 0,3–0,9 мм. Она контактирует с основной частью поверхности электрода. От контакта мембраны с электродом зависит величина внутреннего сопротивления топливного элемента. Топливо и окислитель подаются через специальные каналы в корпусе. В качестве катализатора используется платина и палладий, что значительно удорожает конструкцию, но позволяет добиться плотности тока на уровне 300–500 мА/см<sup>2</sup>, при этом величина максимального падения напряжения приблизительно равна 30 % [6].

На рисунке 3 приведена принципиальная схема топливного элемента с протонообменной мембраной.

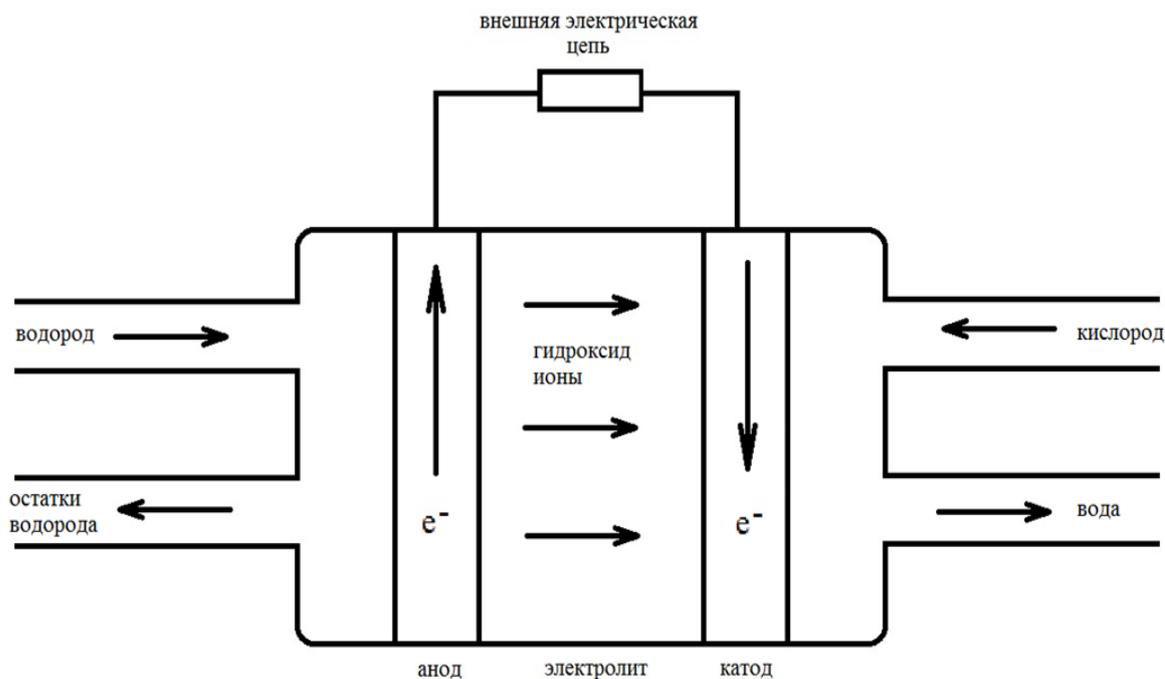


Рис. 3. Принципиальная схема PEMFC

Реакции, происходящие в ячейке, описаны следующими формулами:

На аноде:



На катоде:



Суммарная реакция в PEMFC топливном элементе:



К недостаткам этого типа элемента относят чувствительность к примесям в топливе, невозможность использования вырабатываемого тепла [7].

Топливные элементы служат источником энергии для компьютеров и телефонов, промышленных объектов, домов и автомобилей, железнодорожного транспорта, морских судов, самолетов и космических кораблей. Именно топливные элементы могли бы разрешить проблему электроснабжения регионов, не присоединенных к единой электросети, что составляет около 60 % территории страны.

В основном все исследования в данной области находятся на стадии НИОКР или находят узкое применение для специальных разработок. К сожалению, о широкомасштабном производстве пока речи не идет.

После проведения анализа современного состояния разработок в области топливных элементов можно прийти к выводу, что на данный момент наиболее часто топливные элементы используются для энергоснабжения стационарных установок малой и средней мощности, а также для электроснабжения автомобилей и портативной электроники.

Для потребителей малой мощности, таких как портативная электроника, более эффективны топливные элементы с протонообменной мембраной.

### Литература

1. Комарова Н. Г. Состояние гелиоэнергетики в мире / Н. Г. Комарова, П. В. Беляев // *Динамика систем механизмов и машин*. – 2014. – № 1. – С. 198-202.
2. Соболев А. В., Беляев П. В. Обзор гелиоэнергетики в России / А. В. Соболев, П. В. Беляев // *Динамика систем механизмов и машин*. – 2014. – № 1. – С. 194-198.
3. Гольцов В. А. После Вернадского: синергизм биосферы и виртуальность водородной цивилизации / В. А. Гольцов, Л. Ф. Гольцова // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2013. – № 2. – С. 10–27.
4. Revankar S. T., Majumdar P. *Fuel cells: principles, design, and analysis*. – CRC Press, New York, 2014.
5. Hwang J. J. Review on development and demonstration of hydrogen fuel cell scooters // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2012. – Т. 16. – №. 6. – С. 3803-3815.

6. *Билоненко Р. А.* Современное состояние и перспективы развития топливных элементов // *Авиационно-космическая техника и технология.* – 2013. – №. 6. – С. 83–93.
7. *Романов А. Д., Чернышов Е. А., Романова Е. А.* Сравнительный обзор и оценка эффективности воздухозависимых энергетических установок различных конструкций // *Современные проблемы науки и образования.* – 2013. – №. 6. – С. 67.