

ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Белова Т.Б., Сивачев С.М., Сивачев В.М.
belovatb@yandex.ru

*РГГУ филиал в городе Домодедово, Каширское шоссе, дом 4, кор. 2,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва,
РОССИЯ*

Ключевые слова: топливный элемент, электрохимический генератор, источник энергии, водородная энергетика, окислительно-восстановительная реакция.

Аннотация: ограниченные запасы углеводородных топлив, а также связанная с ними высокая эмиссия вредных веществ в атмосферу заставляют человечество искать новые источники энергии. Сегодня перспективным источником энергии являются топливные элементы. Они имеют высокий КПД, малые размеры и выделяют лишь водяной пар. Поэтому топливные элементы находят применение практически во всех сферах жизни человека: на электростанциях, в автомобильном, морском и железнодорожном транспорте, в авиации, в космических аппаратах.

ВВЕДЕНИЕ

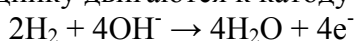
Топливные элементы (ТЭ) были открыты ещё в первой половине 19 века английским физиком и химиком Уильямом Гроувом, занимавшимся электролизом воды. В 1839 году, отключив от электролитической ячейки батарею, он обнаружил, что электроды начали поглощать выделившийся газ и вырабатывать ток. Сам термин «топливный элемент» (Fuel Cell) был предложен в 1889 году Людвигом Мондом и Чарльзом Лангером, которые создавали устройство для выработки электричества из воздуха и угольного газа. В начале 20 века топливными элементами заинтересовалась космическая отрасль. В 1965г. топливные элементы были испытаны в США на космическом корабле «Джемини-5», в дальнейшем - на кораблях «Аполлон» для полетов на Луну и по программе «Шатл». В СССР с 1966 года РКК «Энергия» разрабатывала топливные элементы для советской лунной программы. В 70-80 годы НПО «Квант» совместно с рижским автобусным заводом «РАФ» работали над созданием водородного микроавтобуса на щелочных элементах.

Следующий этап развития топливных элементов начался в 90-е гг. 20 века в связи проблемой усиливающегося парникового эффекта, а также исчерпанием запасов органического топлива. Так как в топливном элементе конечным продуктом сгорания водорода является вода, то они считаются наиболее чистыми с точки зрения влияния на окружающую среду. Поэтому в настоящее время такие автомобильные концерны, как «Хонда», «Тойота», «Даймлер-Крайслер» и «Дженерал Моторс» активно занимаются разработкой автомобилей с топливными элементами. Например, компания «Хонда» выпустила около 50 автомобилей, оснащенных водородной силовой установкой мощностью 100 кВт и хорошими массогабаритными характеристиками, однако стоимость производства такого автомобиля составила 120-140 тысяч долларов США.

ОСНОВЫ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Топливные элементы относятся к таким гальваническим элементам, в которых происходит непосредственное превращение химической энергии в электрическую, причем окислитель и восстановитель находятся вне элемента и непрерывно в него подаются. В среде электролита находятся два электрода – катод и анод, к которым поступают окислитель и восстановитель (топливо) соответственно. Чаще всего окислителем служит кислород, а восстановителем – водород. В качестве электролита обычно применяется щелочная среда. Электроды соединены проводом, служащим в готовых энергоустановках внешней цепью нагрузки.

На аноде водород реагирует с гидроксид-ионами, то есть идет реакция электроокисления водорода с образованием воды и свободных электронов, которые по проводнику двигаются к катоду [1]:



На катоде протекает реакция электровосстановления кислорода:

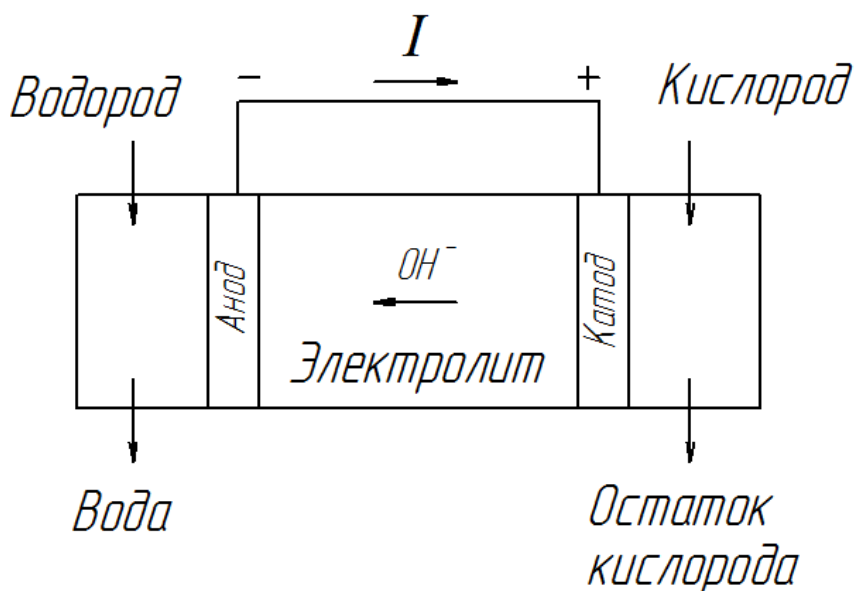
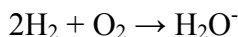
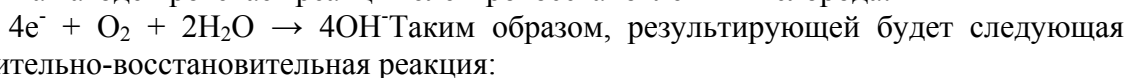


Рис. 1. Схема работы кислород-водородного ТЭ

Очевидно, что результирующая реакция идентична обычной реакции горения водорода (такой процесс называют «холодным горением» топлива). Однако, в данном случае электрический ток, идущий от анода к катоду, получается с большей эффективностью, нежели это происходит на тепловых электростанциях или в дизельных электрогенераторах. Там тепловая энергия переходит в механическую, которая только потом преобразуется в электрическую. В топливных элементах же для осуществления самой «реакции горения» необходим электрический ток, то есть движение электронов от окисляющегося водорода к восстанавливаемому кислороду. Поэтому такие электрохимические генераторы имеют очень высокий КПД.

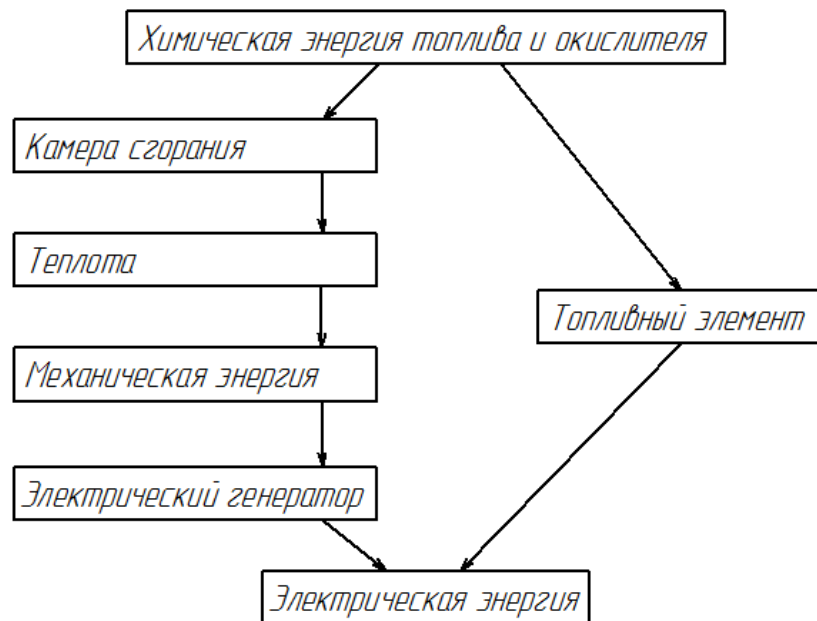


Рис. 2. Схема сравнения превращения химической энергии в электрическую в тепловых энергоустановках и ТЭ

ВИДЫ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

На сегодняшний день существует целый ряд топливных элементов (табл. 1) [3].

Таблица 1. Типы ТЭ и их параметры

Тип ТЭ	Рабочая температура, °С	Электролит	Топливо	Мощность	КПД, %
ТЭ с протообменной мембраной (ТЭПМ)	Ниже 100	Полимерная мембрана	Водород, метан, метанол, бензин	1 - 250 кВт	40-60
Твердооксидный ТЭ (ТОТЭ)	500-1000	Циркониевая керамика	Водород, углекислый газ, метан	200 кВт – 400 МВт	50-65
Фосфоркислый ТЭ (ФКТЭ)	160-210	Фосфорная кислота	Водород	50 кВт – 400 МВт	40-50
Щелочной ТЭ (ЩТЭ)	50-100	Гидроксид калия	Водород	50 кВт – 100 кВт	45-60
Прямой метанольный топливный элемент (ПМТЭ)	60-130	Полимерная мембрана	Смесь воды с метанолом, этанолом	Менее 10 кВт	40

Также существуют прототипы обратимого ТЭ (ОТЭ) и расплавного карбонатного ТЭ (РКТЭ).

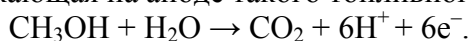
ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЭ

Основная проблема, связанная с топливными элементами, заключается в том, что реакция окисления восстановителя (топлива) идет при комнатной температуре очень медленно. Чтобы ускорить катодную и анодную реакции нужно либо использовать катализатор, либо поднять температуру ячейки. Лучшим катализатором для обоих электродов оказалась платина, тонким слоем которой покрывают электроды. В качестве электролита тогда применяется полимерная электролитная мембрана (ПЭМ) – плёнка, состоящая из молекул поливалентной кислоты, в которых сбоку к углеродной скелетной цепи прикреплены группы кислотного остатка $[-SO_3]$, а протоны свободно движутся по полимеру [2].

Вторая проблема – стоимость. Применение платины в качестве катализатора, а также водорода в качестве топлива делает кислород-водородный элемент очень дорогим. Кроме того, важную роль играет качество подаваемого водорода, так как примеси отравляют катализатор. Чтобы стало возможным использовать технический водород, содержащий 1–2% угарного газа, применили в качестве электролита 100%-ую фосфорную кислоту и подняли температуру элемента до 150–200 °С.

Ещё один минус таких топливных элементов — это использование газообразного водорода, у которого велика энергоёмкость на единицу веса, но очень низка — на единицу объёма. Сжижение могло бы решить задачу "сгущения" водорода, однако необходимая для этого температура делает метод неприменимым для портативных приборов.

Чтобы одновременно решить последние две проблемы, нужно найти такое топливо, которое имело бы высокую плотность энергии, было дешёвым и безопасным. Лучшее всего этим требованиям удовлетворяет метанол — он дешёв, смешивается с водой в любых пропорциях, легко разлагается в очистных сооружениях и обладает в два раза большей объёмной плотностью энергии, чем даже жидкий водород. Реакция, протекающая на аноде такого топливного элемента:



Эта реакция многостадийна: молекула метанола сначала адсорбируется на электроде, затем, в ходе окисления, теряет один за другим протоны и превращается в прочно адсорбированную карбонильную группу, которая не окисляется дальше. Поэтому платина плохо ускоряет данную реакцию. Однако применение Pt/Ru-сплава частично решило эту проблему. Образующиеся на атомах платины карбонильные группы мигрируют на соседний рутениевый атом, где и окисляются. Рутений окисляет карбонильные группы, но он — плохой катализатор для окисления метанола, платина же окисляет метанол, но отравляется угарным газом.

ПРЕИМУЩЕСТВА ТЭ

Во-первых, топливные элементы имеют очень высокий КПД. У них нет и жёсткого ограничения на него, как у тепловых машин, у которых КПД определяется разностью между минимальной и максимальной температурами цикла. За счет непосредственного превращения энергии топлива в электричество КПД установок на ТЭ достигает 60-80%.

Во-вторых, в окружающую среду выделяется лишь водяной пар, поэтому по экологичности с ними даже не могут конкурировать ДВС, выбрасывающие в атмосферу оксиды азота, углекислый и угарный газы, а также другие вредные вещества. Поэтому ТЭ называют источниками энергии с нулевой эмиссией.

Третье достоинство топливных элементов – их компактные размеры.

Топливные элементы легче и имеют меньшие размеры, чем традиционные источники питания. Кроме того, они производят меньше шума, меньше нагреваются, более эффективны с точки зрения потребления топлива.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЭ

Топливные элементы находят применение практически во всех сферах жизни человека: на электростанциях, в автомобильном, морском и железнодорожном транспорте, на подводных лодках, в авиации, в космических аппаратах, горной и шахтной технике, а также в зарядных устройствах и роботах (табл. 2).

Таблица 2. Области применения ТЭ

Тип ТЭ	Области применения
ТЭ с протообменной мембраной (ТЭПМ)	Автомобили, портативные элементы
Твердооксидный ТЭ (ТОТЭ)	Стационарные системы электро- и теплоснабжения
Фосфоркислый ТЭ (ФКТЭ)	Электроснабжение, автобусы
Щелочной ТЭ (ЩТЭ)	Космическая техника, подводный флот
Прямой метанольный топливный элемент (ПМТЭ)	Небольшие приборы, телефоны, компьютеры
Обратимые ТЭ (ОТЭ)	Стационарные устройства
Расплавной карбонатный ТЭ (РКТЭ).	Стационарные системы электро- и теплоснабжения

ССЫЛКИ

- [1] Коровин Н.В. Электрохимическая энергетика. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 264 с.
 [2] Крайцберг А.М. Залей метанол в телефон // «Химия и жизнь», 2005, №3. – С. 18-22.
 [3] Борисов В.Н. Перспективы применения энергоустановок на топливных элементах в энергоснабжении [Электронный ресурс]: Режим доступа <http://toc.vniitf.ru/01ru/papers/10.pdf>.

ELECTRIC POWER SYSTEMS AND EQUIPMENT IN TRANSPORT

Belova T.N., Sivachev S.M., Sivachev V.M.
belovatb@yandex.ru

Moscow,
 RUSSIA

Key words: fuel cell, an electrochemical generator, the source of energy, hydrogen energy, redox reaction.

Abstract: limited supplies of hydrocarbon fuels, as well as the associated high emission of harmful substances into the atmosphere cause mankind to look for new sources of energy. Today, energy is a promising source of fuel cells. They have a high efficiency, small size and emit only water vapor. Therefore, fuel cells are used in virtually all spheres of human life: in power plants, road, sea and rail transport, aviation and space vehicles.