

УДК 621.352.6

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Андреева Т.А., магистрант гр. ХТм-171, I курс
Научные руководители: Папин А.В., к.т.н., доцент,
Игнатова А.Ю., к.б.н., доцент,

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва
г. Кемерово

В настоящее время большое внимание уделяется рациональному использованию полезных ископаемых, в том числе и природных энергоносителей. Эта проблема особенно актуальна для генерации электрической энергии из невозобновляемых источников энергии (ископаемого топлива). При получении электрической энергии по классической схеме: химическая энергия – тепловая энергия – механическая энергия – электрическая энергия – происходит потеря энергии на всех стадиях генерации электроэнергии, а особенно на стадии преобразования тепловой энергии в механическую, и расчетный КПД тепловых электростанций не превышает 30-40 %.

Однако, электрическую энергию можно получить в одну стадию, преобразуя химическую энергию топлива непосредственно в электрическую при помощи химических источников тока (ХИТ). Для непрерывной генерации электроэнергии могут быть использованы топливные элементы, КПД которых приближается к 70-80 % [1].

Топливный элемент (ТЭ) – это химический источник тока, в котором электроэнергия образуется при протекании химической реакции между восстановителем и окислителем, непрерывно поступающими к электродам извне со скоростью, пропорциональной токовой нагрузке. Продукты токообразующей реакции непрерывно выводятся из ТЭ. Таким образом, ТЭ способен работать неограниченное время, пока в него поступают реагенты и происходит отвод продуктов; функционально он аналогичен установкам с тепловыми машинами и электрическими генераторами [2].

Для функционирования топливного элемента необходимы два электрода различной природы (анод и катод), контактирующие с электролитом. На аноде происходит реакция электрического окисления топлива (восстановителя), а на катоде протекает электрохимическое восстановление окислителя. При работе ТЭ катод и анод замыкаются проводником первого рода, по которому электроны двигаются от анода к катоду, т. е. имеет место упорядоченное движение электронов – электрический ток. Электролит представляет собой жидкую или твердую фазу с ионной проводимостью и служит для перемещения электронов от анода к катоду и для пространственного разделения электродных реакций [3].

На рис. 1. представлена принципиальная схема топливного элемента.

Конструктивное исполнение топливных элементов в основном зависит от физических свойств применяемого в них электролита. В настоящее время наибольшее распространение получили шесть основных типов ТЭ [4]:

1. Топливные элементы со щелочным электролитом (ЩТЭ);
2. Топливные элементы с твердополимерным электролитом ТЭ с протонно-обменной мембраной (ТПТЭ);
3. Метанольные топливные элементы (МТЭ);
4. Топливные элементы с фосфорнокислым электролитом (ФКТЭ);
5. Топливные элементы с расплавленным карбонатным электролитом (РКТЭ);
6. Топливные элементы с твердооксидным электролитом (ТОТЭ).

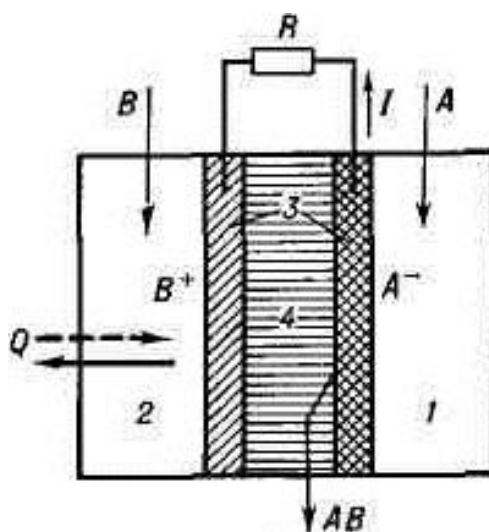


Рисунок 1. Принципиальная схема топливного элемента:

1 и 2 – полости с реагентами; 3 – электроды; 4 – электролит; А – окислитель; В – топливо; АВ – продукты реакции; R – сопротивление нагрузки; I – электрический ток; Q – тепло, выделяющееся (поглощающееся) в результате реакции.

В качестве электролита в топливных элементах со щелочным электролитом применяется 50 %-ный раствор гидроксида калия. ТЭ комплектуются никелевыми гидрофильными или гидрофильно-гидрофобными электродами, содержащими никелевые или платино-палладиевые (на аноде) и серебряные или платиновые (на катоде) катализаторы. В качестве топлива применяется практически чистый водород, что является существенным недостатком данного типа ТЭ [5].

В топливных элементах с твердополимерным электролитом ионным проводником является ионообменная мембрана (твердый полимер) с проводимостью по протонам. Наиболее часто используют американскую мембрану «Нафион» (Nafion) из-за ее высокой электрической проводимости и небольшой толщины (0,05-0,35 мм). В качестве катализатора на обоих электродах применяется платина (0,5-1 мг/см²) на саже, характеризующейся достаточной дисперсностью (75 м²/г).

В метанольном топливном элементе также используется твердополимерная мембрана «Нафион» и платиновый катализатор, принципиальное различие только в используемом топливе: в ТПТЭ – водород, в МТЭ – метиловый спирт.

В ФКТЭ в качестве электролита используется практически чистая фосфорная кислота в матрице из карбида кремния со связующим фторопластом. Среди достоинств фосфорнокислого электролита можно перечислить самостоятельный отвод воды, образующейся в результате электрохимического окисления водорода, и низкую коррозионную активность [6].

В перечисленных выше топливных элементах используется дорогостоящий платиновый катализатор, для ограничения использования этого дефицитного металла можно повысить температуру эксплуатации ТЭ до 600-100 °С. Повышение рабочей температуры ТЭ препятствует скорому отравлению катализатора.

К высокотемпературным ТЭ относятся топливный элемент с расплавленным карбонатным электролитом и топливный элемент с твердооксидным электролитом. В первом случае электролитом служит расплавленная смесь карбонатов лития и калия в порах матрицы из алюмината лития LiAlO_2 , во втором случае – керамический материал из оксида циркония (IV) ZrO_2 , стабилизированного оксидом иттрия (III) Y_2O_3 .

В табл. 1 приведены технические параметры наиболее распространенных типов топливных элементов [7].

Таблица 1. Технические параметры основных типов топливных элементов

Технические параметры	ТЭ					
	ЩТЭ	ТПТЭ	МТЭ	ФКТЭ	РКТЭ	ТОТЭ
Электролит	КОН 30÷40 %	ИОМ	ИОМ	H_3PO_4 98%	$\text{Li}_2\text{CO}_3 + +$ K_2CO_3	$\text{ZrO}_2 +$ $+ \text{Y}_2\text{O}_3$
Рабочая температура, °С	80÷97	70÷90	27÷110	190÷217	620÷700	900÷1000
Топливо	Чистый H_2	Технический H_2	CH_3OH	Технический H_2	$\text{H}_2 + \text{CO},$ CH_4	$\text{H}_2 + \text{CO},$ CH_4
Материал анода	Ni или C+Pt	Pt+C или Pt+Ru	C+Pt+Ru	Pt+C	Ni+Cr	Ni+ ZrO_2
Материал катода	Ni или C+Pt	Pt+C	Pt+C	Pt+C	NiO+ Li_2O	$\text{La}_x\text{Sr}_{(1-x)}$ MnO_3
Плотность тока, kA/m^2	1,5÷3	2÷5	1÷2	2,5÷3,5	1,5÷2	2÷4
Напряжение, В	0,75÷0,9	0,75÷0,8	0,5÷0,6	0,65÷0,75	0,7÷0,8	0,7÷0,75
Ресурс, ч	До 10 000	До 20 000	-	До 50 000	До 20 000	До 50 000
Преимущественное применение	Космические аппараты	Мобильные, портативные установки	Мобильные, портативные установки	Энергоблоки ТЭС	Энергоблоки ТЭС	Энергоблоки ТЭС

Толщина электролита для всех видов ТЭ не превышает нескольких десятков микрон [8].

Образцы различных видов ТЭ выпускаются в единичных экземплярах в связи с тем, что они сложны в изготовлении и требуют использования дорогостоящих материалов, и не нашли широкого применения в народном хозяйстве.

Нами предлагается использовать в качестве электрода твердые углеводороды, такие как уголь, технический углерод, полукокс, кокс и др. Данные углеводороды имеют широкий потенциал для применения в технологиях получения топливных элементов, однако их применение должно базироваться на проработанных и исследованных процессах физико-химической подготовки исходного сырья. Полученные опытные образцы проходят лабораторные испытания.

Список литературы:

1. Чирков, Ю.Г. Любимое дитя электрохимии [Текст] / Ю.Г. Чирков. – М.: Знание, 1985. – 176 с.
2. Багоцкий, В. С. Химические источники тока [Текст] / В. С. Багоцкий, А. М. Скундин. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.
3. да Роза, А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учебное пособие [Текст] / А. да Роза; пер. с англ. под редакцией С.П. Малышенко, О.С. Попеля. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект». – М.: Издательский дом МЭИ; 2010. – 704 с.: ил. [Aldo Viera da Rosa. Fundamentals of Renewable Energy Processes. Elsevier Academic Press. Stanford, 2005]
4. Коровин, Н.В. Топливные элементы и электрохимические установки [Текст] / Н.В. Коровин. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 208 с.: ил.
5. Коровин, Н.В. Электрохимическая энергетика [Текст] / Н.В. Коровин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 264 с.
6. Элверс, Б. Топлива. Производство, применение, свойства. Справочник [Текст] / пер. с англ. под ред. Т.Н. Митусовой. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2012. – 416 с. [Barbara Elvers. Handbook of Fuels. Energy Sources Transportation. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim, 2008]
7. Андреев, В. А. Конструкция топливных элементов / В. А. Андреев, А. В. Безбородов, И. Н. Паскарь // III Всероссийская научно-практическая конференция «ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА», Кемерово, 2017: материалы. Кемерово: КузГТУ, 2017. С. 1-5.
8. Юсти, Э., Винзель, А. Топливные элементы [Текст] / пер. с нем И.Г. Гуревича, Л.А. Матусевич, В.Ш. Паланкера, А.И. Яременко; пер. с англ. Е.Г. Кузнецовой; под ред. акад. А.В. Лыкова и проф. В.С. Багоцкого. – М.: Мир, 1964. – 480 с. [Eduard W. Justi, August W. Winsel. Kalte Verbrennung. Fuell Cells. Franz Steiner Verlag GmbH. Wiesbaden, 1962].