

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ МАКЕТА ЭНЕРГОУСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ 1 КВТ

В.Ф. Чухарев, Б.М. Бочков, В.В. Кулаев, А.Д. Закутнев

Российский федеральный ядерный центр —
ВНИИ технической физики имени академика Е.И. Забабахина, г. Снежинск

Приведено краткое описание конструкции лабораторного образца электрохимического модуля мощностью 500 Вт, разработанного в РФЯЦ — ВНИИТФ для энергоустановок мощностью до 1 кВт. Приведены методика, оборудование и результаты испытаний. Показано, что при испытаниях электрохимический модуль ТОТЭ, выполненный на основе батарей трубчатых ТОТЭ, развил мощность 560 Вт. Приведены электрические характеристики электрохимического модуля.

Разработанный модуль является составной частью макета энергоустановки мощностью 1 кВт, создаваемой в РФЯЦ — ВНИИТФ. Основу электрохимического модуля мощностью 500 Вт составляет батарея ТОТЭ Р111–Л305.030 [1]. Батарея представляет собой восемь трубчатых ТОТЭ, соединенных параллельно (рис. 1). Для трубчатых элементов выбран засыпной вариант коммутации, описанный в данном сборнике. Расчетная мощность такой батареи составляет $4 \text{ Вт} \times 8 = 32 \text{ Вт}$ при напряжении 0,75 В. Электрохимический модуль (далее по тексту — модуль) состоит из набора 16 батарей ТОТЭ, соединенных последовательно. Расчетная мощность модуля составляет 512 Вт при напряжении 8–12 В.



а



б

Рис. 1. Батарея ТОТЭ:

а — без наружного кожуха; *б* — в сборе с наружным кожухом

Батареи ТОТЭ устанавливаются через герметизирующие элементы на металлическом воздушном коллекторе в два ряда по 8 штук в каждом. Над батареями располагается топливный коллектор, опирающийся через керамические изоляторы на поверхность крышек батарей ТОТЭ. Каждая из батарей ТОТЭ имеет топливный трубопровод, который герметично закреплен в топливном коллекторе. В местах крепления батарей ТОТЭ в воздушном и топливном коллекторах предусмотрена также и электрическая изоляция батарей от коллекторов. Для проведения испытаний модуля установлен на выдвижном поде электронагревательной печи (рис. 2). Габаритные размеры модуля $105 \times 370 \times 440$ мм.



Рис. 2. Электрохимический модуль ТОТЭ в сборе

1. МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Испытания проведены на специальном стенде Р111–М713. В качестве топлива при испытаниях был использован водород технический ГОСТ–3028–80, в качестве окислителя — воздух. Газовые реагенты подавались в модуль через газовые пульты, оснащенные редукторами и ротаметрами для контроля расхода газов.

Стартовый разогрев производился в специально сконструированной электрической печи ПСДО — 1100/310.61–65 с выдвижным подом, на который устанавливался модуль. Воздушный и топливный коллекторы проходили через крышку выдвижного пода печи в холодную зону, где к коллекторам стыковались газовые системы подачи топлива и окислителя.

Для измерения температуры в различных зонах модуля были установлены 14 термопреобразователей. Контроль температуры производился с использованием блока преобразования РУПИ 2002, позволяющего с помощью ПЭВМ выводить на график показания каждого из термопреобразователей в режиме реального времени с частотой опроса 5 с.

Измерение электрических характеристик — тока и напряжения на выходных шинах модуля производились с помощью блока нагрузок P110.5M13, оснащенного магазином сопротивлений, амперметром и цифровым вольтметром.

Испытания производились в следующей последовательности:

- после установки модуля в рабочий объем печи включалась подача в катодную полость воздуха с расходом (12 ± 2) м³/ч;
- включался нагрев печи и модуль нагревался до температуры 950 °С со скоростью не более 300 °С/ч;
- при достижении 200 °С включалась подача аргона в анодную полость модуля с расходом $(0,6 \pm 0,1)$ м³/ч;
- при достижении 800 °С производилось замещение аргона водородом с расходом водорода $(0,6 \pm 0,1)$ м³/ч;
- после нагрева модуля до 950 °С производилось измерение температуры в различных точках модуля и электрических параметров для расчета характеристик:
 - зависимости напряжения на нагрузке от тока при температуре 950 °С (рис. 4);
 - зависимости электрической мощности от тока при температуре 950 °С (рис. 3).

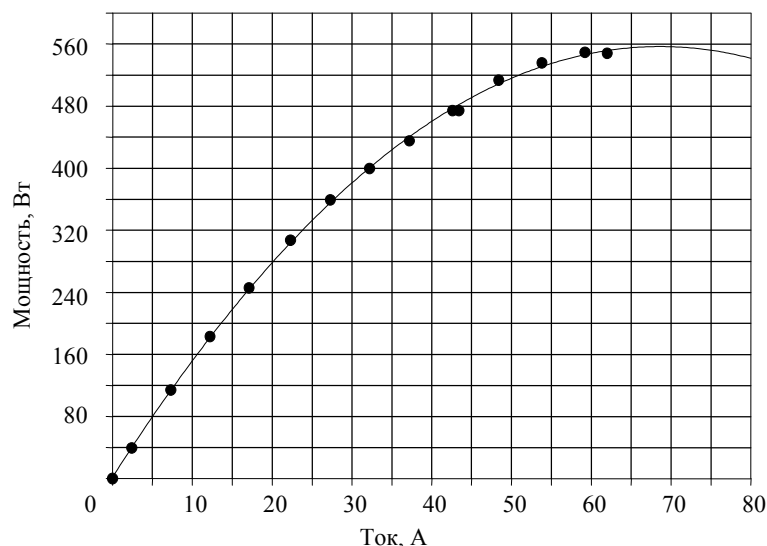


Рис. 3. Зависимость мощности от тока электрохимического модуля

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов испытаний показывает, что в работе модуля участвовали все 16 батарей, о чем свидетельствует напряжение разомкнутой цепи, которое составило 16,8 В (по 1,05 В на каждую батарею). Максимальная мощность

модуля достигла 560 Вт при напряжении 8 В. Мощность модуля при напряжении 12 В составила 432 Вт.

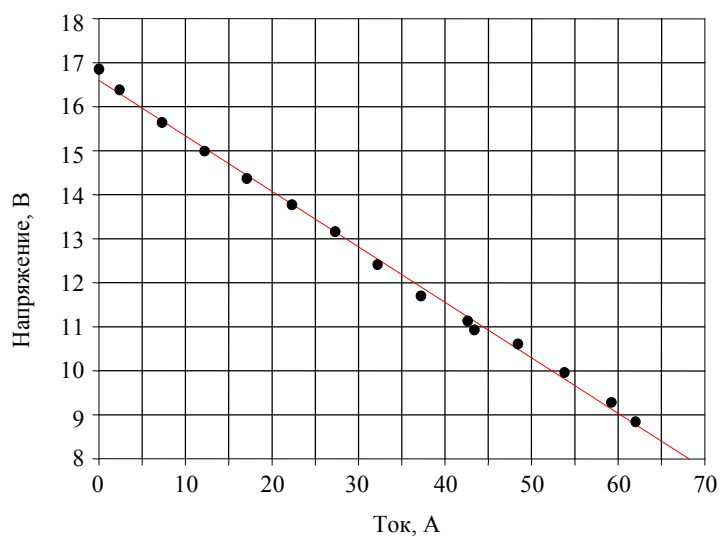


Рис. 4. Вольт–амперная характеристика электрохимического модуля

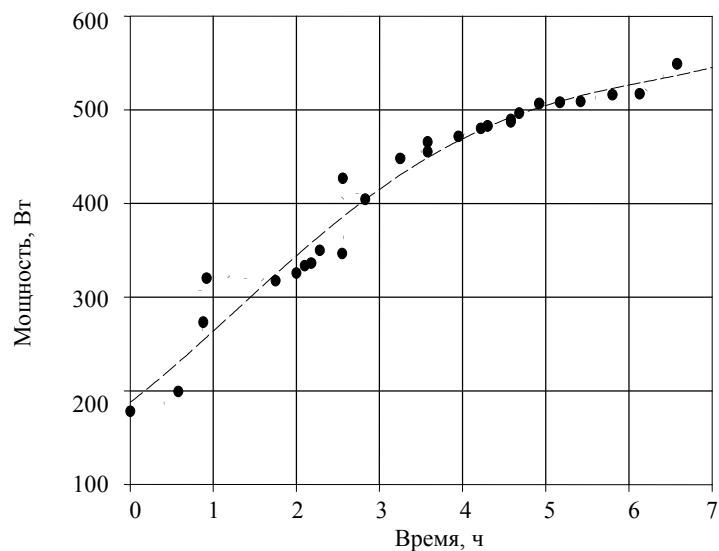


Рис. 5. График нарастания мощности электрохимического модуля. Нулевая точка на временной шкале соответствует началу выдержки модуля на рабочей температуре

При испытании обнаружена неравномерность температурного поля модуля, которая достигала при выходе на рабочий режим $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при выдержке на рабочем режиме составила $(1000 - 890) = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 6). По результатам температурных измерений максимальные значения температур соответствуют верхней зоне модуля, которая находится на уровне открытых торцов топливных элементов в батареях ТОТЭ. Это может являться следствием следующих факторов: неравномерности распределения температуры в зоне печи и, следовательно, температуры вдоль трубчатого элемента, конструктивных особенностей батареи, тепловыделения самого модуля, недостаточного прогрева реагентов и др. Выравнивание температурного поля может привести к повышению мощности модуля. Это подтверждают исследования распределения мощности по длине топливного элемента, которые показали, что максимальная удельная мощность снимается с нижней части топливного элемента. Далее, по мере приближения к открытому торцу топливного элемента, значения удельной мощности снижаются.

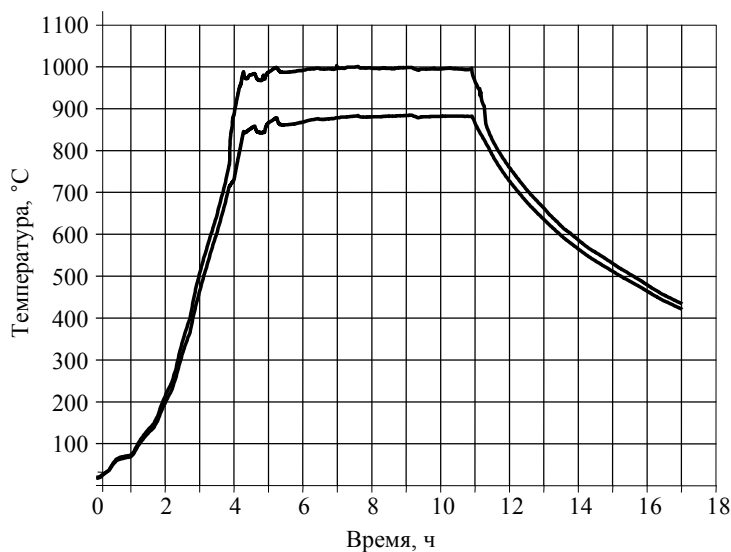


Рис. 6. График зависимости температуры от времени на электрохимическом модуле

Кроме того, анализ графика нарастания мощности модуля во времени (рис. 5) позволяет заключить, что процесс нарастания мощности не закончился после выдержки на рабочем режиме в течение 7 часов.

3. ВЫВОДЫ

1. Разработана конструкция электрохимического модуля мощностью 500 Вт, являющегося составной частью макета энергоустановки ЭУ-1 мощностью 1 кВт.

2. При испытаниях в течение 7 часов максимальная мощность модуля достигла 560 Вт при напряжении 8 В, при напряжении 12 В мощность модуля составила 432 Вт.
3. Резервом повышения мощности может явиться выравнивание температурного поля электрохимического модуля.

ССЫЛКА

1. Кулаев В.В., Гречко М.В., Лукашенко И.Г., Чухарев В.Ф. Твердооксидный топливный элемент и батарея на его основе // Труды II Межвузовской отраслевой научно–технической конференции. — г. Новоуральск, 1999 г.