

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБЧАТЫХ ТВЕРДОКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И.Г. Лукашенко, В.В. Кулаев, В.Ф. Чухарев

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

Проведены испытания трубчатых ТОТЭ, разработанных во ВНИИТФ. Приведены результаты измерения электрических характеристик как единичных ТОТЭ, так и батарей на их основе при параллельном и последовательном соединении. Общее время испытания составило 160 часов. Мощность ТОТЭ и батарей ТОТЭ в течение первых 60 часов испытания росла, в течение последующих 100 часов оставалась постоянной.

Во ВНИИТФ с 1990 года ведется работа по созданию электрохимических установок на основе ТОТЭ. В соответствии с программой работ в 1996 году были проведены испытания трубчатых ТОТЭ, изготовленных во ВНИИТФ при научном сопровождении Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН г. Екатеринбург.

Целью данных исследований являлось определение электрических характеристик единичных трубчатых ТОТЭ и батарей ТОТЭ при последовательном и параллельном их соединениях.

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТОТЭ

Конструкция — трубчатая; $\varnothing 10$ мм, $l = 210$ мм. Расположение электродов относительно электролита: анод — на наружной поверхности, катод — на внутренней (рис. 1, 2).

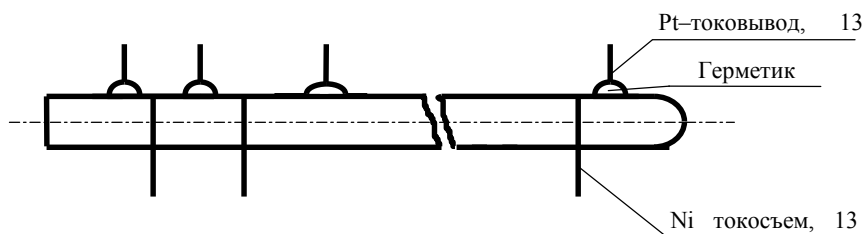


Рис. 1. Схема трубчатого ТОТЭ

Токосъем с катода осуществлялся с помощью платиновых токовыводов, выполненных из проволоки марки Пл-1 диаметром 0,3 мм, длиной 25 мм. Токосъем с анода осуществлялся с помощью никелевых токосъемов, выполненных из проволоки марки Нп-2 диаметром 0,2 мм, длиной 60 мм.

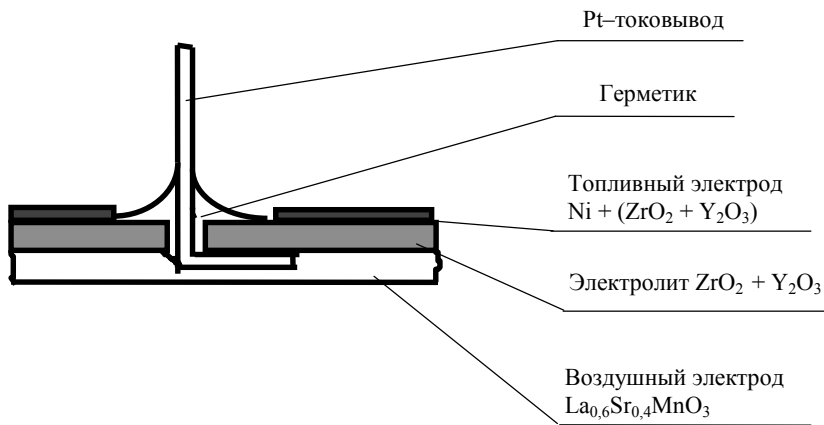


Рис. 2. Схема коммутации воздушного электрода

2. МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Для длительных испытаний ТОТЭ было спроектировано и изготовлено шестиместное технологическое приспособление, позволяющее осуществлять параллельное и последовательное соединение ТОТЭ в батарее.

Испытания проводили в два этапа с промежуточным охлаждением до комнатной температуры с последующим выводом на рабочий режим (рис. 3).

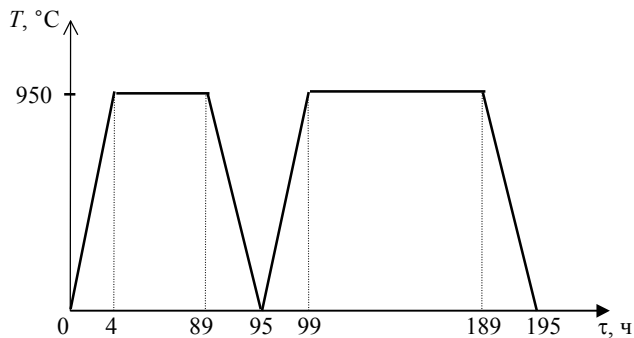


Рис. 3. Временная диаграмма работы элементов

Фактическое время испытания составило 160 часов. Темпы изменения температуры при нагреве и охлаждении не превышали $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. В качестве топлива для ТОТЭ использовался технический водород, в качестве окислителя — воздух.

В ходе испытаний измерялось: напряжение холостого хода (U_x), а также зависимость напряжения на элементах при различных значениях тока в цепи нагрузки как для единичных ТОТЭ, так и для батарей ТОТЭ. По результатам измерения ВАХ рассчитывалась снимаемая электрическая мощность P_{max} по формуле

$$P_{\max} = \frac{U_{\text{xp}}^2}{4},$$

где U_{xp} — расчетное напряжение холостого хода; r — внутреннее сопротивление ТОТЭ (или батареи ТОТЭ), определяемое как тангенс угла наклона ВАХ:

$$r = \frac{(U_{\text{xp}} - U)}{I},$$

где I, U — текущие значения тока и напряжения.

Типичная ВАХ испытанных ТОТЭ приведена на рис. 6. Величина напряжения холостого хода определялась экспериментально при разомкнутой цепи нагрузки ($U_{\text{хз}}$) и расчетным путем, при допущении линейности ВАХ. По данным эксперимента можно заключить, что ВАХ испытанных ТОТЭ близка к линейной в диапазоне токов от 0 до половины тока короткого замыкания ($I_{\text{к.з}}$). При расчетах электрических характеристик ТОТЭ, таких, как U_{xp} , r , P_{\max} , предполагалось, что ВАХ всех испытываемых ТОТЭ линейна во всем диапазоне токов от 0 до $I_{\text{к.з}}$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерения электрических характеристик единичных ТОТЭ и батарей ТОТЭ представлены в таблице и на рис. 4—6.

Максимальная мощность единичных ТОТЭ и батарей ТОТЭ

№ элемента	Максимальная мощность, Вт	Плотность мощности, мВт/см ²	Плотность тока, мА/см ²
2	3,1	61,4	135,6
3	2,8	56,0	122,9
4	2,4	47,8	104,8
5	2,1	42,0	92,6
6	1,5	30,8	78,6
2, 3 (послед.)	5,8	57,7	63,7
4, 5, 6 (парал.)	6,1	40,6	89,7

Величины расчетного напряжения холостого хода (U_{xp}), полученные экстраполяцией ВАХ на ось напряжений, лежали в пределах 0,86—0,95 В при фактической величине 0,88—0,93 В. Среднее отклонение расчетных значений U_{xp} от измеренных значений $U_{\text{хз}}$ составило $\pm 0,02$ В. Полученные значения близки к средней величине ЭДС водородно-воздушного элемента, которая при температуре 950 °С составляет $\sim 0,93$ В [1].

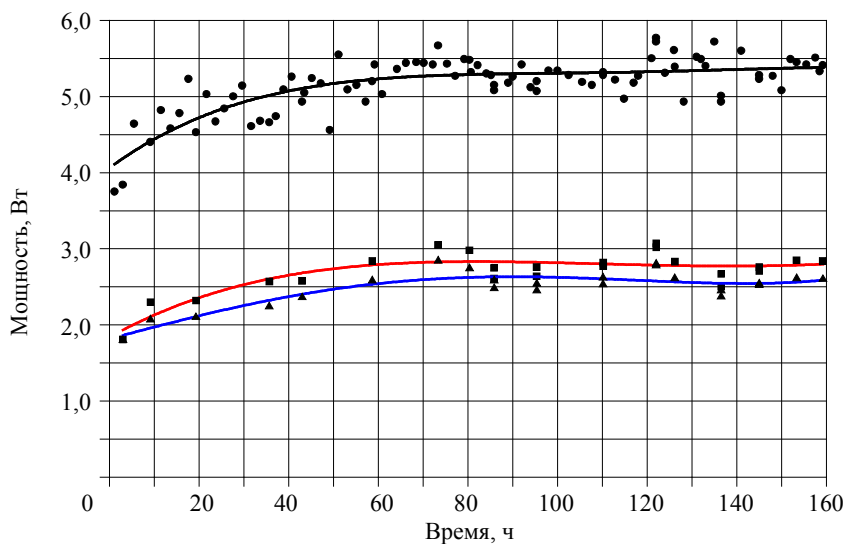


Рис. 4. Зависимость максимальной мощности ТОТЭ номер 2, 3 и батареи ТОТЭ (последовательное соединение) от времени их работы:

● — батарея ТОТЭ; ■ — ТОТЭ № 2; ▲ — ТОТЭ № 3

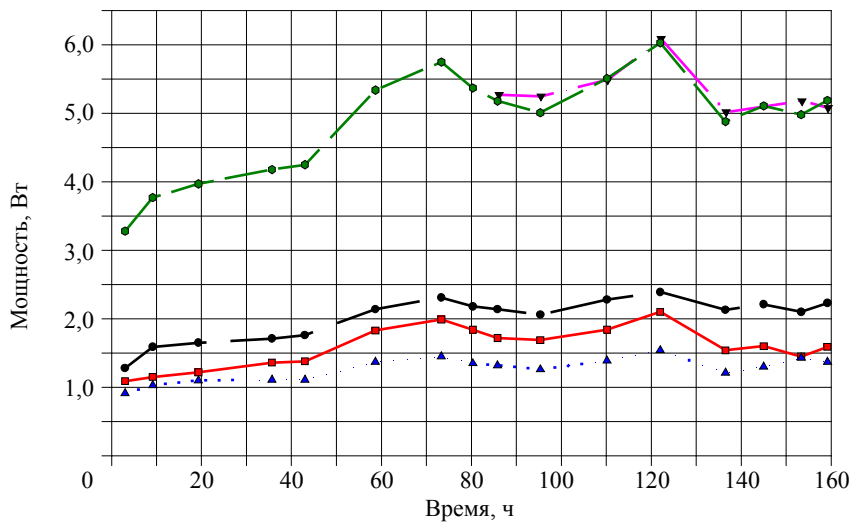


Рис. 5. Зависимость максимальной мощности ТОТЭ номер 4, 5, 6 и батареи ТОТЭ (параллельное соединение) от времени их работы:

● — ТОТЭ № 4; ■ — ТОТЭ № 5; ▲ — ТОТЭ № 6;
 ● — батарея ТОТЭ (сумма мощностей элементов); ▼ — батарея ТОТЭ (эксперимент)

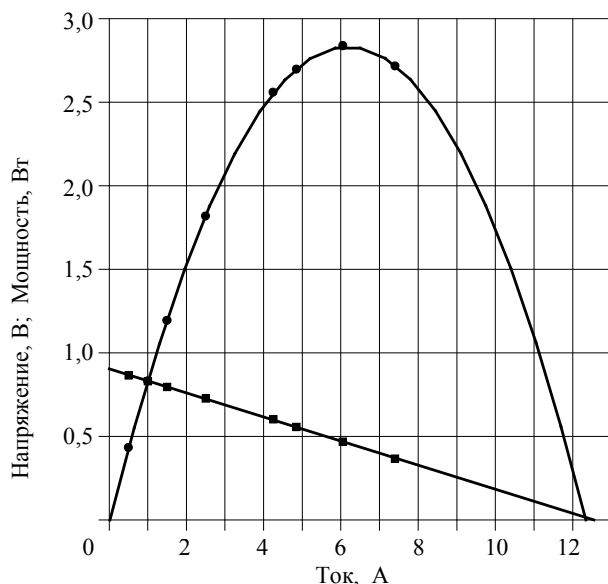


Рис. 6. Вольт–амперная характеристика и зависимость мощности от тока элемента № 2 (время испытания 160 часов, температура 960 °С)

ВАХ всех ТОТЭ в пределах измерений были близки к линейным.

Электрические характеристики как единичных ТОТЭ, так и батарей ТОТЭ были стабильны во времени и не ухудшились в течение 160 часов испытаний. Отмечен значительный рост (до 36 %) снимаемой мощности в течение первых 60 часов испытаний, в дальнейшем характеристики стабилизировались и их изменения в оставшиеся 100 часов не наблюдалось. Колебания измеряемой мощности связаны в основном с колебаниями температуры электрохимической зоны.

Относительно невысокие удельные характеристики элементов связаны с недостаточной электропроводностью материалов электродов ($\sigma_{\text{LaSrMnO}_3} = 45\text{—}65 \text{ См/см}$, $\sigma_{\text{Ni-кэрмета}} = 100\text{—}120 \text{ См/см}$) и большой толщиной электролита (~550 мкм), а также потерями мощности на коммутирующих элементах.

4. ВЫВОДЫ

Определены выходные характеристики трубчатых ТОТЭ при длительной работе (до 160 часов). Отмечено, что электрическая мощность элементов со временем возрастает на ~30 %

Относительно невысокие удельные характеристики элементов и батареи связаны с потерями мощности на коммутирующих элементах и с недостаточной электропроводностью материалов электродов и большой толщиной электролита.

Результаты проведенных испытаний позволяют приступить к следующему этапу работ — изготовлению и ресурсным испытаниям батареи ТОТЭ для макетного образца автономного источника питания.

ССЫЛКА

1. Коровин Н.В. Электрохимическая энергетика. — М. Энергоатомиздат, 1991. — 264 с.

Работа впервые опубликована на XI конференции по физической химии и электрохимии расплавленных и твердых электролитов.
г. Екатеринбург, 1998.