

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТРУБЧАТЫХ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С КАТОДОМ НА НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ЗАСЫПНЫМИ ТОКОСЪЕМАМИ

В.В. Кулаев, В.Ф. Чухарев, А.В. Устюгов, М.В. Гречко, И.Г. Лукашенко

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

Разработан и испытан трубчатый ТОТЭ с катодом на наружной поверхности трубки и засыпными токосъемами. Приведены результаты измерений электрических характеристик и оценка стабильности характеристик в течение 200 часов испытаний. Показано, что использование засыпных токосъемов приводит к снижению внутреннего сопротивления ТОТЭ до уровня 0,0163 Ом и повышению максимальной мощности до 15,6 Вт (300 мВт/см²).

В 1994—1996 годах в РФЯЦ — ВНИИТФ были изготовлены и испытаны трубчатые ТОТЭ с катодом на внутренней поверхности трубки и проволочными токосъемами (катодный — платина, анодный — никель). Максимальная электрическая мощность этих ТОТЭ составила 5,6 Вт (~100 мВт/см²).

В 1997 году был разработан и испытан ТОТЭ с катодом на наружной поверхности трубки и засыпным анодным токосъемом. Катодный токосъем был выполнен в виде колец из платиновой проволоки. Максимальная электрическая мощность, достигнутая на данном ТОТЭ, составила 7,7 Вт (145 мВт/см²). Существенное увеличение мощности обусловлено снижением сопротивления анодного токосъема в связи с использованием вместо проволоки засыпки из гранулированного никель–кермета. Внутреннее сопротивление ТОТЭ составило 0,025—0,031 Ом.

Дальнейшего повышения характеристик ТОТЭ с катодом на наружной поверхности, по-видимому, можно достичь, уменьшив сопротивление катодного токосъема путем замены платиновых колец на засыпку из материала, имеющего достаточную проводимость в окислительной среде при рабочих температурах ТОТЭ 900—1000 °С. Такими материалами могут быть кобальтит лантана–стронция, манганит лантана–стронция и хромит лантана. Ряд этих материалов приведен в порядке убывания их электрической проводимости. С точки зрения стойкости в окислительной и восстановительной средах наиболее предпочтительным является хромит лантана.

Кроме того, конструкция ТОТЭ с засыпным катодным токосъемом позволяет исключить проволочные токосъемы из ТОТЭ и снизить трудоемкость его изготовления.

1. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Токосяем с анода ТОТЭ с засыпными токосяемами (далее по тексту — засыпной ТОТЭ) осуществлялся с помощью засыпки из гранулированного никель–кермета (рис. 1). Токосяем с катода — при помощи засыпки из гранулированного кобальтита лантана–стронция (ТОТЭ № 2—8) и гранулированного хромита лантана (ТОТЭ № 1). ТОТЭ помещались в платиновый стакан, выполняющий роль катодного токовывода. Роль анодного токовывода выполняла медная трубка для подачи топлива. В процессе эксперимента измеряли электрохимические характеристики ТОТЭ: вольт–амперные характеристики, мощность, внутреннее сопротивление, поляризационные потери. В качестве окислителя использовался воздух, в качестве топлива — водород, увлажненный при 20 °С.

В катодное пространство воздух подавали на протяжении всего эксперимента с расходом 60—100 л/ч. Скорость нагрева не превышал 300 °С/ч. Во время разогрева ТОТЭ до рабочей температуры (950 °С) в анодное пространство подавали аргон с расходом 5 л/ч. При температуре 950 °С аргон заменили водородом.

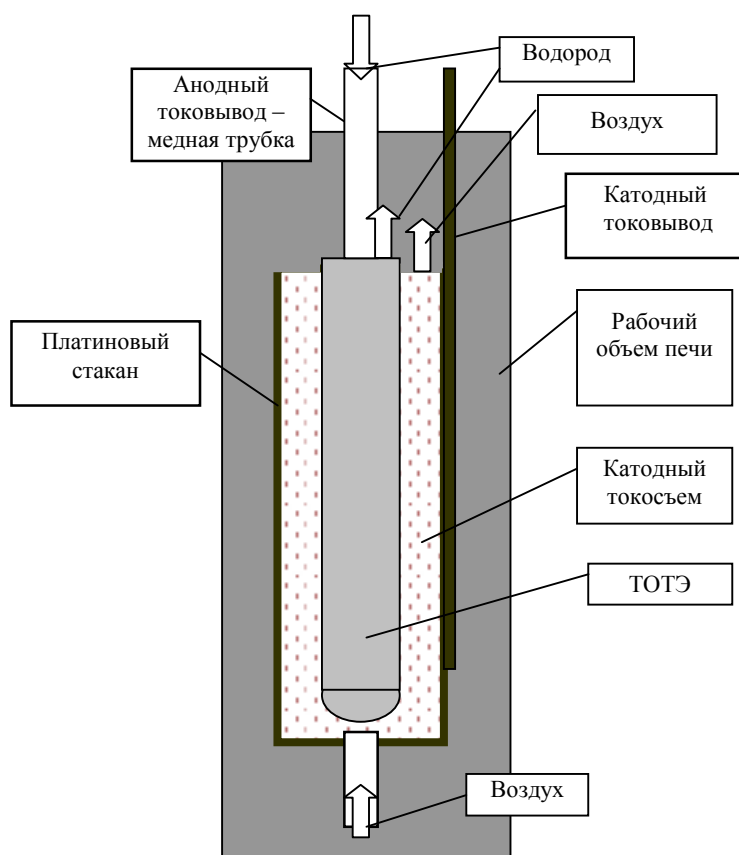


Рис. 1. Схема испытаний засыпного ТОТЭ

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Основные результаты экспериментов представлены в таблице и на рис. 2, 3.

Результаты испытаний засыпных ТОГЭ

№ ТОГЭ	Напряжение холостого хода, В	Максимальная мощность, Вт	Максимальная удельная мощность, Вт/см ²	Внутреннее сопротивление, Ом	Поляризационные потери (при токе), В (А)
1	1,063	1,10	0,021	0,2220	0,099 (3,70)
2	1,061	12,23	0,235	—	—
3	1,066	12,67	0,244	0,0163	0,126 (10,40)
4	—	12,82	0,247	—	—
5	1,070	11,82	0,227	0,0165	0,122 (10,10)
6	1,074	14,82	0,285	0,0167	0,098 (10,35)
7	1,077	15,59	0,300	—	—
8	1,062	12,84	0,247	—	—

Примечание. Данные приведены при расходах водорода ~20 л/ч, воздуха ~100 л/ч.

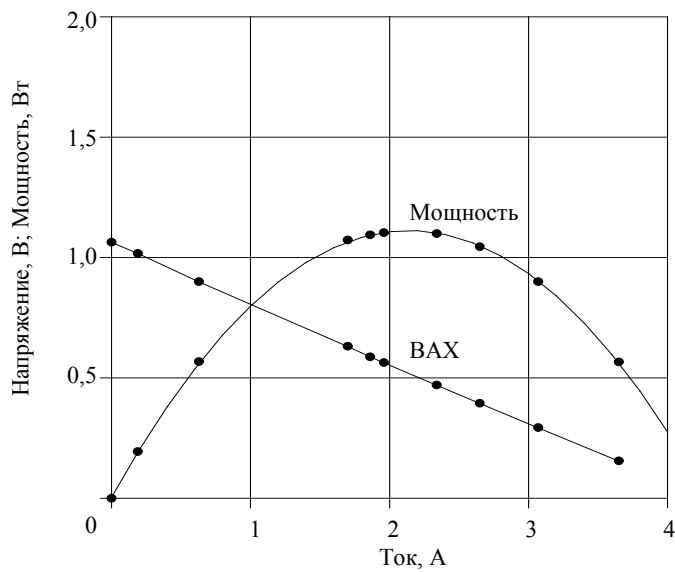


Рис. 2. Вольт–амперная характеристика и зависимость мощности от тока ТОГЭ № 1

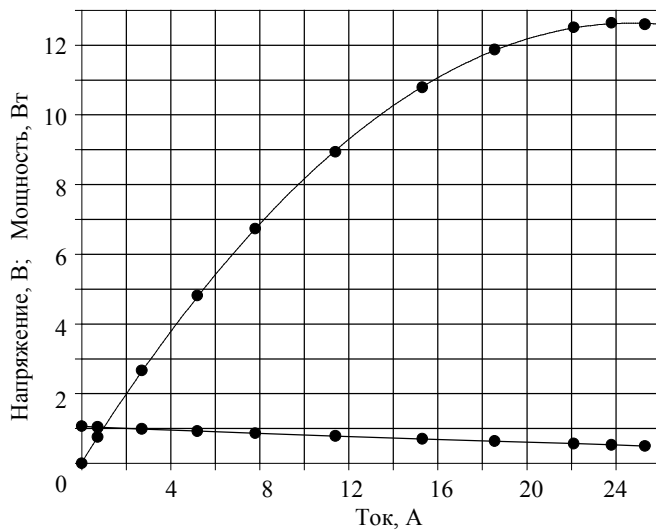


Рис. 3. Вольт–амперная характеристика и зависимость мощности от тока ТОТЭ № 3

На рис. 4 приведена зависимость мощности ТОТЭ № 8 от времени испытания. Условия испытания: температура 950 °С, расходы водорода — 10 л/ч, воздуха — 100 л/ч, напряжение на ТОТЭ ~0,6 В, ток нагрузки 16—17 А.

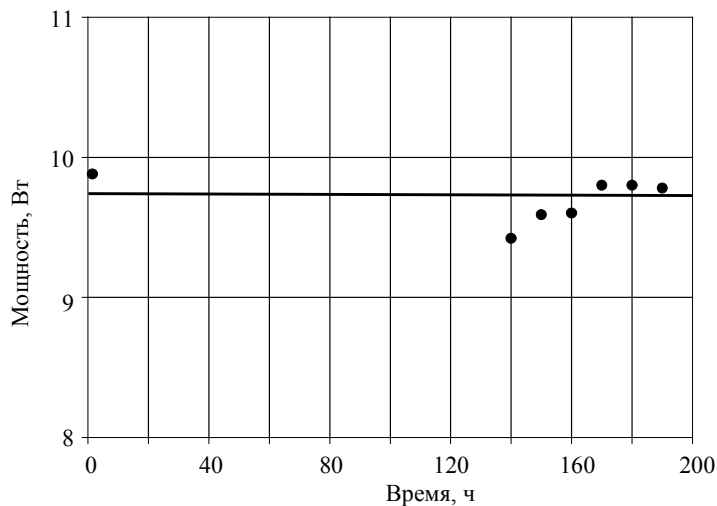


Рис. 4. Зависимость мощности ТОТЭ № 8 от времени испытания

Результаты экспериментов подтвердили работоспособность засыпки из гранулированных кобальтита лантана–стронция и хромита лантана в качестве катодного токосъема.

Удельные электрические характеристики ТОТЭ № 1 значительно ниже, чем удельные характеристики других испытанных ТОТЭ, в связи с тем, что внут-

ренное сопротивление ТОТЭ № 1 с засыпкой из хромита лантана примерно в 10 раз выше, чем у ТОТЭ с засыпкой из кобальтита лантана–стронция. Это обусловлено тем, что удельное сопротивление хромита лантана в рабочих условиях ТОТЭ выше, чем кобальтита лантана–стронция, в 5—20 раз в зависимости от состава и технологии изготовления.

Использование токосъема из гранулированного кобальтита лантана–стронция позволило значительно снизить внутреннее сопротивление ТОТЭ с 0,025 до 0,0163 Ом и, следовательно, существенно увеличить электрические характеристики с 7,7 до 15,6 Вт (со 145 до 300 мВт/см²).

Испытания ТОТЭ № 8 показали, что электрические характеристики засыпного ТОТЭ стабильны по крайней мере в течение 200 часов.

3. ВЫВОДЫ

1. Показана возможность использования засыпки из гранулированного кобальтита лантана–стронция в качестве катодного токосъема.
2. Использование засыпки из гранулированного кобальтита лантана–стронция в качестве катодного токосъема (вместо проволочных токосъемов) позволяет увеличить максимальную электрическую мощность ТОТЭ с 7,7 Вт до 15,6 Вт.
3. Использование засыпки из гранулированного хромита лантана в качестве катодного токосъема приводит к значительному росту внутреннего сопротивления ТОТЭ и, как следствие, к существенному снижению мощности.
4. В течение 200 часов испытаний электрические характеристики засыпного ТОТЭ остаются стабильными.