

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА В СОСТАВЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Заика С.В.¹, Угланов Д. А.¹

¹Самарский университет, г. Самара, zaika@ssau.ru

Ключевые слова: низкотемпературная энергетическая установка, водород, беспилотный летательный аппарат

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) приводятся в движение чаще всего электрическими двигателями. Широкое применение обусловлено их малым весом и простотой управления. Вопрос об увеличении времени эксплуатации малых БПЛА является ключевой задачей разработок в этой области. Создание эффективных систем аккумулирования энергии и применение современных топливных элементов позволяют увеличить время полета. В данном исследовании рассматривается низкотемпературная энергетическая установка, в составе которой находится твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ), работающий на жидком водороде. Использование водорода экологично, исключает наличие топливного следа, позволяет сократить выбросы вредных веществ в окружающую среду.

Схема низкотемпературной энергетической установки представлена на рис. 1.

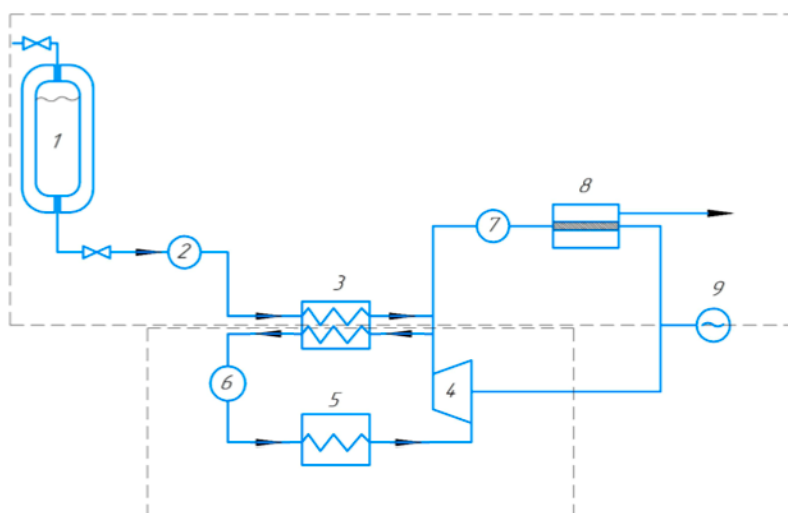


Рис. 1 – Схема низкотемпературной энергетической установки с ТОТЭ

1 – баллон с криогенной заправкой, 2 – криогенный насос,
3 – теплообменник криогенного рабочего тела, 4 – турбина,
5 – испаритель хладагента, 6 – насос, 7 – насос,
8 – твердооксидный топливный элемент, 9 – электрогенератор

Криогенная жидкость (жидкий водород) из баллона 1 при помощи насоса 2 поступает в теплообменник 3. Газообразный водород поступает в ТОТЭ, и полученная работа через привод направляется в электрогенератор. Безвредные продукты реакции выводятся в окружающую среду.

В энергетическую установку вспомогательного контура также входит: теплообменник-испаритель криогенного рабочего тела 3, турбина 4, теплообменник-испаритель 5, насос 6. Мощность, отбираемая электрогенератором с турбины вспомогательного контура и снимаемая с двигателя, аккумулируется в батарее.

При расчете основных параметров ТОТЭ допускаются следующие упрощения [1]:

1. Состав воздуха принимается в виде смеси 79 % азота (N_2) и 21 % кислорода (O_2).

2. Температуры на входе и выходе из воздушных и топливных каналов равны друг другу и не изменяются по времени.

3. Сопротивление между контактами незначительны, и ими можно пренебречь.

4. Изменение давления внутри ТОТЭ незначительно.

ТОТЭ плоской конструкции представляет собой прямоугольную керамическую структуру, состоящую из электролита и электродов, к которой с обеих сторон примыкают коллекторные пластины с системой горизонтальных газораспределительных каналов прямоугольного сечения. По топливным каналам к аноду ТОТЭ подводится топливо и отводятся продукты реакции [2].

Для энергетического расчета необходимо получить значения парциального давления каждого элемента, состоящего в смеси в каждом сечении и получить значение расхода смеси. Эти значения можно получить по формулам (1) – (3):

$$G_{см} = \sum G_i \quad (1)$$

$$G_i = m_i \cdot M_i \quad (2)$$

$$P_i = \frac{m_i}{m_{см}} \cdot P_{см} \quad (3)$$

В табл. 1. представлены результаты определения давлений и расхода элементов смеси.

Табл. 1 – Результаты определения давлений и расхода элементов смеси

Вещество		Парциальное давление P_i , бар	Расход вещества G_i , кг/с	Расход смеси $G_{см}$, кг/с
Воздух атмосферный	Азот	0,71	1,67	2,42
	Кислород	0,29	0,77	
Водород		6,7	0,0006	0,0006

Эти данные необходимы для начала вычисления ключевых показателей, позволяющих сделать выводы об эффективности низкотемпературной установки – мощности и химического КПД.

Они находятся по итоговым формулам (4) – (5) [3]:

Химический КПД ТОТЭ:
$$\eta_{ТОТЭ_{хим}} = \frac{V_{ТОТЭ}}{E_r}, \quad (4)$$

где $V_{ТОТЭ}$ – напряжение на ячейке, E_r – обратное напряжение ячейки

Мощность ТОТЭ:
$$W_{ТОТЭ} = V_{ТОТЭ} \cdot i_{ТОТЭ} \cdot A_a \cdot n, \quad (5)$$

где $i_{ТОТЭ}$ – плотность тока, n – количество каскадов

Выводы

Предложена схема криогенной силовой установки с твердооксидным топливным элементом, использующая водород в качестве рабочего тела. Разработана методика расчета основных параметров. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при использовании нескольких каскадов можно получить мощность 1,9 кВт, при этом химический КПД такой установки составит 78%.

Результаты работы получены с использованием оборудования центра коллективного пользования «УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР «ВИБРАЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ» при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № 0777-2020-0019).

Список литературы

1. Агарков Д. А. Исследование переноса заряда в композиционных материалах с ионно-электронной проводимостью и создание на их основе ТОТЭ планарной конструкции :

магистерская диссертация. Черноголовка, 2013. 71 с.
30 Тезисы Третьей всероссийской конференции с международным участием «Топливные элементы и энергоустановки на их основе» (Черноголовка, 29 июня – 3 июля 2015 г.). Черноголовка, 2015. 170 с.

2. Демин А. К. Термодинамика твердооксидного топливного элемента на электролите с протонной проводимостью // Твердооксидные топливные элементы: сборник научно-технических статей. Снежинск : РФЯЦ-ВНИИТФ, 2003. С. 376.

3. Волкова Ю. В. Разработка адаптированной к инженерной практике методики расчета энергетических характеристик установок с твердооксидными топливными элементами : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.14.04 / Ю. В. Волкова ; [Место защиты: Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина]. — Екатеринбург, 2016. — 142 с. — Библиогр.: с. 127-135 (94 назв.). <http://hdl.handle.net/10995/41292>

Сведения об авторах

Заика Сергей Вячеславович, младший научный сотрудник Научно-образовательного центра газодинамических исследований. Область научных интересов: энергетика низкотемпературных установок.

Угланов Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей. Область научных интересов: исследование процессов в криогенной технике.

CALCULATED STUDIES OF THE EFFICIENCY OF USING A SOLID OXIDE FUEL CELL IN A LOW-TEMPERATURE POWER PLANT OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Zaika S.V.¹, Uglanov D.A.¹

¹Samara National Research University, Samara, Russia, zaika@ssau.ru

Keywords: low temperature power plant, hydrogen, unmanned aerial vehicle

For an unmanned aerial vehicle, a cryogenic power plant with a solid oxide fuel cell was proposed, using hydrogen as a working fluid.

A method for calculating the main parameters of SOFC has been developed. The results obtained allow us to conclude that it is necessary to use several SOFC cascades to obtain the required specified power and achieve a high level of chemical efficiency.