

УДК 621.314

Сравнение энергомассовых характеристик ядерной энергодвигательной установки с различными типами систем преобразования тока

Иванов Фёдор Андреевич

ivanovfa@student.bmstu.ru

Онуфриев Валерий Валентинович

onufryev@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Одним из перспективных направлений космической техники является использование ядерных энергоустановок с термоэмиссионным реактором-преобразователем (ТРП) в качестве источников питания электроракетных двигательных установок (ЭРДУ) космических аппаратов (КА). В работе проведена оценка параметров энергодвигательной установки (ЭДУ), использующей высокотемпературные систему преобразования тока (СПТ) и бортовую кабельную сеть (БКС). Выполнено массовое исследование ЭДУ с СПТ на основе полупроводниковой и плазменной технологий, и показаны преимущества использования высокотемпературных СПТ и БКС для перспективных ТРП мощностью 50–150 кВт.

Ключевые слова: космический аппарат, ядерная энергетическая установка, геостационарная орбита, система преобразования тока, бортовая кабельная сеть, энергодвигательная установка

Введение. ТРП является низковольтным (120–150 В) сильноточным (до 1 кА и выше) источником электроэнергии [1, 2], который совместно с ЭРДУ, БКС и СПТ находится в составе ЭДУ. При этом энергомассовые и эксплуатационные характеристики ЭДУ зависят от параметров и типа СПТ и БКС: на основе приборов полупроводниковой твердотельной электроники или приборов высокотемпературной плазменной электроэнергетики.

Материалы и методы; результаты. Принята следующая массовая модель [3]: масса всей ЭДУ складывается из массы ЯЭУ с холодильником-излучателем (ХИ), массы СПТ, массы цепи БКС, массы ЭРДУ и массы конструкции ЭДУ. Удельная масса ЭДУ есть сумма удельных масс ее агрегатов и с учетом джоулевых потерь можно получить следующее уравнение:

$$\gamma_{\text{ЭДУ}} = \gamma_{\text{ЯЭУ}}(1 + \varphi_{\text{кон1}}) + \gamma_{\text{СПТ}}(\eta_{\text{БКС}} \cdot \eta_{\text{СПТ}}) + \gamma_{\text{БКС}}(\eta_{\text{БКС}} + \eta_{\text{БКС}}^2 \cdot \eta_{\text{СПТ}}) + \gamma_{\text{ЭРДУ}}(\eta_{\text{БКС}}^2 \cdot \eta_{\text{СПТ}} \cdot \eta_{\text{ЭРДУ}}), \quad (1)$$

где $\gamma_{\text{ЭДУ}}$, $\gamma_{\text{ЯЭУ}}$, $\gamma_{\text{СПТ}}$, $\gamma_{\text{БКС}}$ и $\gamma_{\text{ЭРДУ}}$ — удельные массы самой ЭДУ и соответствующих элементов; $\varphi_{\text{кон1}}$ — массовая доля конструкции, связанная с ЯЭУ и ЭРДУ ($\varphi_{\text{кон1}} = 0,1\text{--}0,2$); $\eta_{\text{СПТ}}$, $\eta_{\text{БКС}}$ и $\eta_{\text{ЭРДУ}}$ — КПД СПТ, БКС и ЭРДУ.

Масса СПТ зависит от массы силовой части, системы управления, системы теплоотвода и термостатирования. Для работы полупроводниковых СПТ требуются температуры 300–400 К, что влияет на их расположение в области

приборного отсека КА и площадь необходимого низкотемпературного ХИ. Основную часть БКС для такой СПТ будет составлять сильноточный участок цепи (напряжение 120–150 В, ток до 1 кА и выше), из-за чего поперечное сечение шины составит 2–5 см². Плазменные СПТ способны работать в диапазоне температур 500–900 К и позволяют использовать их за радиационной защитой ТРП на высокотемпературном участке ХИ. Данное расположение позволяет повысить напряжение в БКС с 120–150 до 2000 В и более, а также понизить ток до 50 А, что снижает поперечное сечение шин до 0,15–0,4 см² и уменьшает массу кабельной сети.

На основании формулы (1) и работы [4] приведена оценка масс элементов ЭДУ с учетом типа выбранной СПТ и БКС, а также значений выходной мощности ТРП. Результаты оценки приведены в таблице.

Массы СПТ и БКС для различных типов СПТ

Выходная мощность ТРП, кВт	Низкотемпературная СПТ		Высокотемпературная СПТ	
	Масса СПТ, кг	Масса БКС, кг	Масса СПТ, кг	Масса БКС, кг
50	530	63,3	62,6	4,75
100	1,06·10 ³	253	125,1	18,9
150	1,59·10 ³	570	187,7	42,7

Заключение. Проведено массовое исследование ЭДУ с учетом типа выбранной СПТ, температурного режима работы СПТ и БКС, выходной мощности ТРП, а также КПД всех элементов, входящих в ЭДУ. Показано, что использование СПТ и БКС на основе приборов высокотемпературной плазменной энергетики дает возможность уменьшить удельную массу ЭДУ с выходной мощностью ТРП 50 кВт на 12 %, мощностью 100 кВт — на 19 %, а мощностью 150 кВт — на 25 %.

Список источников

- [1] Кайбышев В.З. Термоэмиссия в космических ядерных энергоустановках. *Энергия: Экономика, Техника, Экология*, 2018, № 4, с. 13–21.
- [2] Косенко А.Б., Синявский В.В. Технико-экономическая эффективность использования многоразового межорбитального буксира на основе ядерной электроракетной двигательной установки для обеспечения больших грузопотоков при освоении Луны. *Космическая техника и технологии*, 2013, № 2, с. 72–84.
- [3] Онуфриев В.В., Онуфриева Е.В., Синявский В.В. О влиянии электроракетной двигательной установки на характеристики транспортно-энергетического модуля на основе термоэмиссионной ядерно-энергетической установки. *Известия Российской академии наук. Энергетика*, 2022, № 1, с. 3–12.
- [4] Онуфриева Е.В., Алиев И.Н., Онуфриев В.В. О выборе оптимального температурного режима преобразователя тока космической энергодвигательной установки. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2014, № 7, с. 10–18.