УДК 629.785

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕРМОЭМИССИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СО СВЕРХДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ

А. В. Колычев, В. А. Керножицкий

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Описано устройство гидродинамического термоэмиссионного преобразователя тепловой энергии в электрическую. Данное устройство заключается в том, что в его активной зоне организуется течение потоков слабоионизированной плазмы с высокими скоростями (0,5–7,0 км/с и выше). Это позволяет располагать рабочие поверхности катода и анода гидродинамического термоэмиссионного преобразователя на расстояниях, много больше характерных для классических термоэлектрических преобразователей величин в 0,3–0,5 мм. Таким образом, повышается надежность гидродинамического термоэмиссионного преобразователя за счет отсутствия необходимости поддержания малого зазора и сведения к минимуму негативных последствий изменения формы активной поверхности катода. Наличие слабоионизированной плазмы обуславливает перенос электронов за счет её движения, что приводит к ликвидации пространственного заряда над поверхностью эмиссии, что также позволяет поддерживать достаточно большой зазор (до 5 см и выше) между катодом и анодом при тех же и лучших теплоэлектрофизических характеристиках преобразования по сравнению с классическими термоэлектрическими преобразователями. При этом функционирование гидродинамического термоэмиссионного преобразователя не зависит от формы электродов, которая может меняться в течение всего срока существования, и отсутствует потребность в дистанциаторах. Это приводит к существенному повышению надежности и долговечности системы преобразования при применении любого источника тепловой энергии, обеспечивая ресурс в 15–20 лет и более непрерывной работы. При движении слабоионизированной плазмы над поверхностью катода происходит снос пространственного заряда по направлению её движения, что снижает потери напряжения между катодом и анодом и обуславливает рост КПД преобразования. По предварительным оценкам суммарный КПД преобразования может составлять 30–35 %. Вклад в данное значение вносит передача кинетической энергии движения слабоионизированной плазмы электронам эмиссии.

Ключевые слова: термоэлектронная эмиссия, гидродинамический термоэмиссионный преобразователь, высокоскоростные потоки слабоионизированной плазмы.

На данном этапе развития ракетно-космической техники и космонавтики особую актуальность приобретает разработка крупногабаритных космических летательных аппаратов (КЛА) с длительным сроком службы. Данные КЛА необходимы для комплексного исследования Луны, организации исследовательских автоматических и пилотируемых миссий к планетам Солнечной системы, в том числе к Марсу, борьбы с космическим мусором, обеспечения электропитания крупных научных инструментов, например, орбитальных телескопов, предупреждения об астероидной опасности, поиска и добычи полезных ископаемых на различных космических телах и др. При этом важным фактором решения таких задач является применение отечественных технологий на полностью отечественной элементной базе.

Предполагается, что в основе энергообеспечения указанных КЛА будет система с прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую энергию. Поэтому разработка и совершенствование таких систем электрообеспечения также является актуальной.

Разработчики систем прямого преобразования тепловой энергии в электрическую энергию

© Колычев А. В., Керножицкий В. А., 2017

DOI: 10.26732/2225-9449-2017-3-126-129

сталкиваются с рядом технических проблем, например, с проблемой обеспечения длительного ресурса таких преобразователей – источников электрической энергии на борту. Классические термоэмиссионные системы [1] имеют в своем составе малый межэлектродный зазор, что негативно сказывается на надежности такой системы преобразования в течение длительного срока службы порядка 10–15 лет. Так, для реализации турбомашинного преобразования [2] в составе энергетической установки КЛА требуется ряд новых технологических решений, например, обеспечение высоких оборотов ротора турбины на основе использования магнитных подшипников. Существуют также магнитогидродинамические (МГД) системы преобразования тепловой энергии в электричество [3], которые обладают такими недостатками, как низкий КПД при относительно высоких температурах рабочего тела (≈ 2200 градусов Цельсия) и малый ресурс электродов в рабочей зоне. Поэтому актуальным является поиск новых методов преобразования тепловой энергии в электрическую энергию повышенной надежности, простоты и долговечности для использования в энергосистемах КЛА различных видов с длительным сроком активного существования.

В БГТУ разработан и исследуется новый тип гидродинамических термоэмиссионных преобразователей (ГИТЭП) [1, 2], в основу которых положен процесс организации в активной зоне термоэмиссионного преобразователя высокоскоростных потоков инертных газов (СИП). Разработка ГИТЭП реализуема полностью на отечественной элементной базе с использованием научного задела, опережающего научные заделы других стран на 5–10 лет.

Устройство ГИТЭП заключается в том, что в активной зоне ТЭП организуется течение СИП с высокой скоростью. Это достигается тем, что на входе в зазор между катодом и анодом ГИТЭП устанавливается сопло, выходное сечение которого через зазор связано с входным отверстием диффузора. А выходное отверстие диффузора через источник подогрева рабочего тела (инертных газов) посредством трубопровода связано с входным сечением сопла. При этом в трубопроводе, соединяющем диффузор и сопло, установлен вспомогательный анод-сетка, предназначенный для восприятия оставшихся электронов эмиссии и перенаправления их обратно на катод.

При нагреве катода, например, от бортового источника тепловой энергии происходит эмиссия электронов, которые переносятся на анод посредством СИП. То есть при движении СИП образуется проводящий слой, через который электроны переходят с катода на анод. При этом большая их часть воспринимается на выходе из активной зоны посредством вспомогательного анода-сетки, что обуславливает низкую зависимость термоэлектронной эмиссии от величины межэлектродного зазора.

В качестве исходных элементов для СИП могут выступать легкоионизированные элементы или соединения, например, цезий, барий. Может быть также использована плазма инертных газов.

Устройство ГИТЭП представлено на рис. 1.

Мировая новизна и работоспособность ГИТЭП подтверждены патентом на изобретение № 2538768 и патентом на полезную модель № 139811.

Разрабатываемый ГИТЭП обладает следующими достоинствами:

1. Наличие СИП обуславливает перенос электронов за счет движения СИП за время, при котором не происходит существенного рассеяния энергии электронов, что позволяет получить высокие электрические характеристики преобразования.

2. Наличие СИП также приводит к ликвидации пространственного заряда над поверхностью эмиссии, что позволяет поддерживать достаточно большой зазор (до 5 см и выше) между катодом и анодом при тех же и лучших теплоэлектрофизических характеристиках преобразования по сравнению с классическим ТЭП. При этом функционирование ГИТЭП не зависит от формы электродов, которая может меняться в течение всего срока существования, и отсутствует потребность в дистанциаторах. Это приводит к существенному повышению надежности и долговечности системы преобразования при применении любого источника тепловой энергии, обеспечивая ресурс в 15–20 лет и более непрерывной работы.

3. Можно использовать относительно недорогие материалы эмиссионных слоев. При этом более высокое значение работы выхода таких материалов по сравнению с классическим цезиевым ТЭП компенсируется ликвидацией пространственного заряда посредством движения СИП с большими скоростями и увеличением размеров эмиссионной поверхности без ущерба для надежности и долговечности ГИТЭП.

4. СИП также приводит к устранению из зазора технологических газов и других веществ, характерных для устройства функционирования источника тепловой энергии КЛА.

5. За счет движения СИП над поверхностью катода происходит снос пространственного заряда по направлению движения СИП, что снижает потери напряжения между катодом и анодом и обуславливает рост КПД преобразования. По предварительным оценкам, суммарный КПД преобразования может составлять 30–35 %. Вклад в данное значение вносит передача кинетической энергии движения СИП электронам эмиссии.

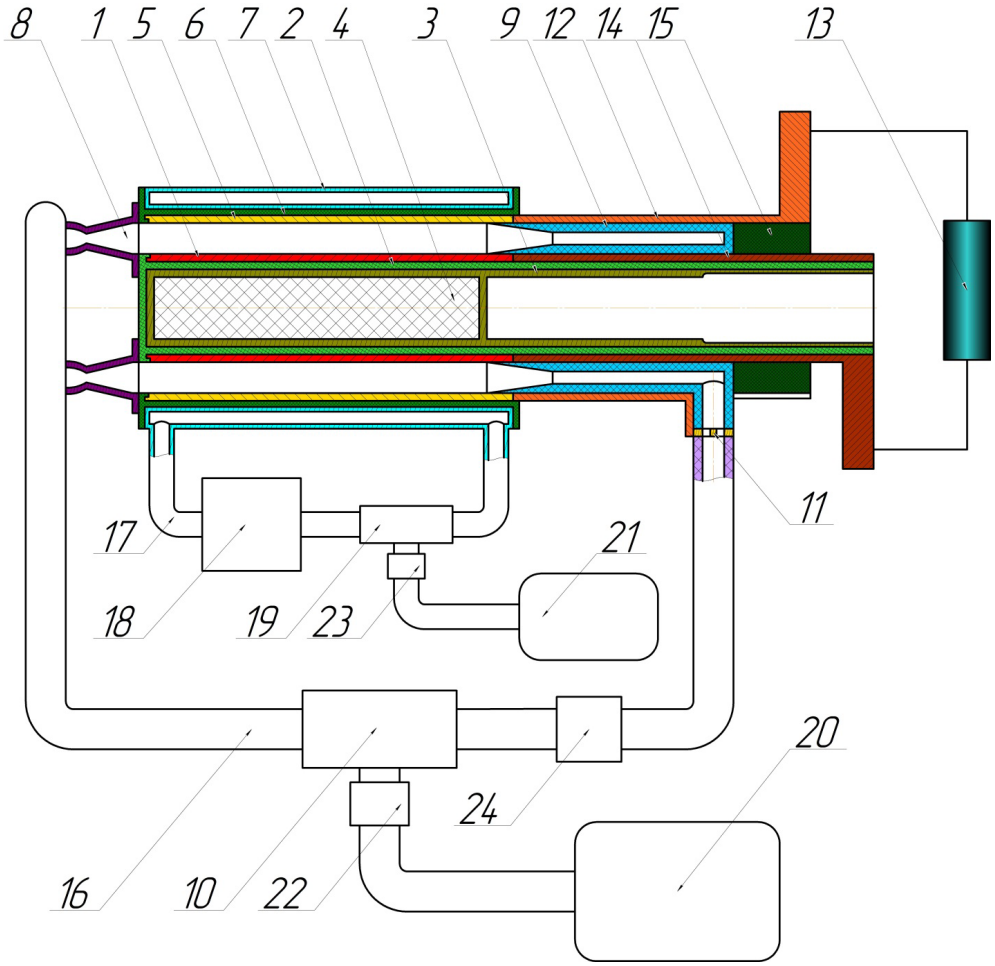


Рис. 1. Принципиальная схема устройства ГИТЭП:
1 – катод, 2 – электроизоляция катода, 3 – оболочка ядерного топлива, 4 – ядерное топливо, 5 – анод, 6 – электроизоляция анода, 7 – система охлаждения анода, 8 – сверхзвуковое щелевое сопло, 9 – сверхзвуковой щелевой диффузор, 10 – нагреватель, 11 – анод-сетка, 12 – токовывод анода, 13 – потребитель электрической энергии, 14 – токоввод катода, 15 – электроизоляция, 16 – трубопровод циркуляции рабочего тела, 17 – трубопровод системы охлаждения анода, 18 – теплообменник, 19 – насос, 20 – бак для хранения рабочего тела, 21 – бак для хранения охладителя анода, 22 – клапан, 23 – клапан, 24 – обратный клапан

Таким образом, на основе применения ГИТЭП появляется возможность создания новых энергетических установок с прямым преобразованием тепловой энергии в электричество повышенной надежности и долговечности, способных обеспечить длительное автономное существование крупногабаритных КЛА в ближнем и дальнем Космосе.

Предлагаемые в настоящей статье технические решения обладают технологической простотой, базируются на применении отечественных материалов и уникальных отечественных технологий. Это обуславливает высокую надежность создаваемых на их основе энергетических установок и сокращают сроки их отработки и ввода в эксплуатацию.

ГИТЭП может стать основой для создания транспортного энергетического модуля и орбитального буксира, крупногабаритных КЛА, в том числе орбитальных платформ для сборки на орбите крупногабаритных конструкций со сверхдлительным сроком активного существования, других объектов ракетно-космической техники, предназначенных для решения основных задач исследования и освоения Солнечной системы.

Список литературы

1. Квасников Л. А., Кайбышев В. З., Каландаришвили А. Г. Рабочие процессы в термоэмиссионных преобразователях ядерных энергетических установок. М. : МАИ, 2001. 240 с.
2. Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций : учеб. пособие для вузов / под ред. С. В. Цанева. 3-е изд., стереотип. М. : Издательский дом МЭИ, 2009. 584 с.: ил.

3. Бреев В. В., Губарев А. В. Панченко В. П. Сверхзвуковые МГД-генераторы. М. : Энергоатомиздат, 1988. 240 с.
4. Патент РФ № 2538768 МПК G21C 3/40. Термоэмиссионный электрогенерирующий канал. Заявка № 2013143069/07 от 20.09.2013 / Керножицкий В. А., Колычев А. В., Атамасов В. Д., Романов А. В., Шаталов И. В., Бюл., 2015. № 1.
5. Патент РФ № 139811 МПК G21C 3/40. Термоэмиссионный электрогенерирующий канал. Заявка № 2013145364/07 от 09.10.2013 / Керножицкий В. А., Колычев А. В., Ипатов О. С., Бюл., 2014. № 12.

История статьи
Поступила в редакцию 31 мая 2017 г.
Принята к публикации 27 июня 2017 г.

HYDRODYNAMIC THERMIONIC CONVERTERS POWER PLANTS OF SPACECRAFTS WITH THE SUPERLONGTERM LIFECICLE

A. V. Kolychev, V. A. Kernozhitskiy
Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D. F. Ustinov, Saint Petersburg, Russian Federation

The device of the hydrodynamic thermionic converter of heat energy in electric is described. The hydrodynamic thermionic converter device is that in the nuclear core of it the current of flows of easy ionized plasma with high speeds will be organized (0.5-7 km/s and above). It allows to have effective areas of the cathode and hydrodynamic thermionic converter anode at distances much more than sizes, characteristic of classical thermionic converter, in 0.3-0.5 mm. Thus reliability of hydrodynamic thermionic converter due to lack of need of maintenance of the small gap and minimizing of negative effects of change of the form of the active surface of the cathode increases. Existence the easy ionized plasma causes electron transfer at the expense of the movement easy ionized plasma that leads to elimination of a space charge over the surface of issue that also allows to support rather big gap (to 5 cm and above) between the cathode and the anode at the same and best heatelectrophysical characteristics of transformation in comparison with classical thermoelectric converter. At the same time functioning of hydrodynamic thermionic converter does not depend on a form of electrodes which can change during all term of existence and there is no requirement in the distantsiatorakh. It leads to essential increase in reliability and longevity of system of transformation at application of any source of thermal energy, providing a resource in 15-20 and more years of the continuous operation.

At the movement easy ionized plasma over the surface of the cathode there is a demolition of a space charge in the direction of the movement easy ionized plasma that reduces losses of tension between the cathode and the anode and causes body height of efficiency of transformation. According to preliminary estimates the cooperative efficiency of transformation can make the size of 30-35%. The contribution to this value is made by transfer of a kinetic energy of the movement easy ionized plasma to emission electrons.

Keywords: thermionic emission, hydrodynamic thermionic converter, high-speed flows of easy ionized plasma.

References

1. Kvasnikov L.A., Kaybyshev V.Z., Kalandarishvili A.G. *Rabochie protsessy v termoemissionnykh preobrazovatelyakh yadernykh energeticheskikh ustanovok* [Working processes in thermionic converters of nuclear power plants]. Moscow, MAI Publ., 2001, 240 p. (In Russian)
2. Canev S. V. *Gazoturbinnie i parogazovie ustanovki teplovih elektrostancii* [Gas turbine and Steam Gas plants for heat electric station] Moscow, MEI Publ., 2009, 584 p. (In Russian)
3. Breev V. V., Gubarev A. V., Panchenko V. P. *Sverhzvukovie MGD-generatori* [Supersonic MHD – generators]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, 240 p. (In Russian)
4. Kolychev A. V., Kernozhitskiy V. A. *Termoemissionnii elektrogeneriruyuschii kanal* [The thermoemission electrogenerating channel]. Patent RF, no. 2538768, 2015.
5. Kolychev A. V., Kernozhitskiy V. A. *Termoemissionnii elektrogeneriruyuschii kanal* [The thermoemission electrogenerating channel]. Patent RF, no. 139811, 2014.

Article history
Received 31 May 2017
Accepted 27 June 2017