

## РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ОБРАЗЦА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**А. В. Колычев, В. А. Керножицкий, Л. П. Юнаков,  
А. А. Левихин**

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

*Приведены сведения о разрабатываемом в БГТУ «ВОЕНМЕХ» гидродинамическом термоэмиссионном преобразователе, а именно о варианте его лабораторного образца. Лабораторный образец предназначен для проведения комплексных экспериментальных исследований гидродинамического термоэмиссионного преобразователя для двух видов рабочих тел – продуктов сгорания органического топлива и инертных газов с добавками щелочных металлов.*

*В ходе разработки лабораторного образца гидродинамического термоэмиссионного преобразователя было высказано предложение о его создании на основе приведения продуктов сгорания органического топлива. В данном случае существенно упрощается создание лабораторного образца по причине более низкой трудоемкости организации пламени.*

*Основными элементами разработанного лабораторного образца являются катод – источник электронов и анод – элемент, воспринимающий электроны, вышедшие с катода, соединенные через полезную нагрузку.*

*В данном случае существует проблема изменения термоэмиссионных характеристик источника электронов – катода, как за счет процессов «отравления» (адсорбции), так и за счет возможных химических превращений. Проведенные предварительные исследования показали, что при определенной температуре рабочего тела уменьшение тока не происходит.*

*Областью применения таких преобразователей являются автономные источники питания арктических транспортных средств и космических аппаратов со сверхдлительным сроком эксплуатации.*

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

Увеличение количества частных предприятий, обеспечивающих вывод полезного груза на орбиту, ведет к увеличению количества космических аппаратов (КА), работающих на околоземных орбитах и в межпланетном пространстве. Поэтому актуальным является развитие бортовых источников электроэнергии, получаемых в том числе путем преобразования избыточной тепловой энергии. К таким КА можно отнести и разрабатываемый в РФ транспортно-энергетический модуль, предназначенный как для довыведения КА на различные орбиты, очистки околоземного

пространства от осколков и мусора, так и для проведения дальних межпланетных автоматических экспедиций.

Предполагается, что в основе энергообеспечения указанных КА станет система с прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую энергию. Поэтому задача разработки и совершенствования таких систем электрообеспечения тоже является актуальной.

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» разработан и исследуется новый тип гидродинамических термоэмиссионных преобразователей (ГИТЭП) [1–3], в основу которых положен процесс организации в активной зоне термоэмиссионного преобразователя высокоскоростных потоков инертных газов

(СИП). Причем добавление легкоионизируемых добавок, например цезия, калия, бария, позволит существенно увеличить ток термоэмиссии при нагреве [4–9]. Это позволяет обеспечить большие зазоры при сравнимой с классическими ТЭП генерируемой мощности, а значит, повысить на данной основе надежность и долговечность ГИТЭП как источников электрической энергии КА.

В ходе исследований возникло предположение, которое заключается в том, что подобные ГИТЭП могут работать на основе газов – продуктов сгорания органического топлива. Это позволит расширить область применения ГИТЭП на объекты, предназначенные для освоения новых территорий, например Арктики.

Мировая новизна и работоспособность ГИТЭП подтверждены патентом на изобретение № 2538768 и патентом на полезную модель № 139811 [1–2].

Следующим этапом предполагаются экспериментальные исследования лабораторного образца (ЛО) ГИТЭП. Для этого на первом этапе разработан облик ЛО ГИТЭП на продуктах сгорания органического топлива, которые получить и применить для исследований не представляется проблематичным.

Предлагаемое устройство (рис. 1) включает в себя катод, анод, токовывод, токоввод, полезную нагрузку, канал движения рабочего тела, подставку, фиксатор, крепеж, гильзу, гайки и электроизолирующие прокладки.

Катод предназначен для обеспечения эмиссии электронов при нагреве, анод – для восприятия электронов из потока рабочего тела и перенаправления его в токовывод, полезную нагрузку и токоввод. Причем работа выхода катода больше работы выхода анода, что приводит к возникновению разности потенциалов, которая усиливается в 1,5–2,0 раза за счет острой формы катода. В полезной нагрузке совершается полезная работа электронов за счет тепла, полученного при нагреве катода. Канал движения рабочего тела предназначен для направленного движения рабочего тела от катода на выход. Подставка предназначена для надежного расположения ЛО ГИТЭП в заданном месте, фиксатор – для фиксации анода в заданном положении при воздействии на него набегающего потока рабочего тела.

Крепеж предназначен для жесткой связи с ЛО ГИТЭП с платформой, гильза – для охлаждения анода за счет большей интегральной сте-

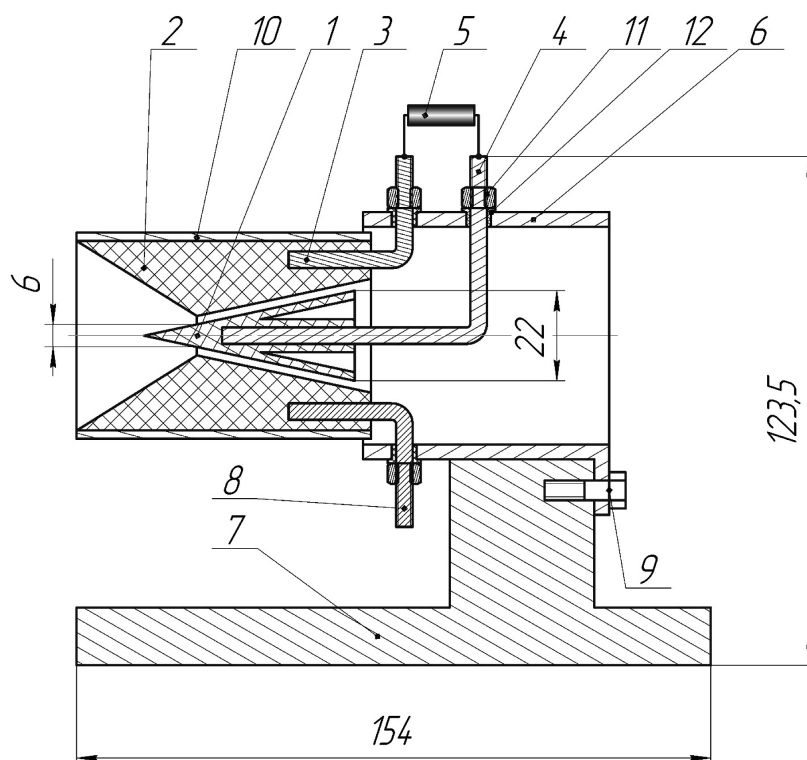


Рис. 1. Предлагаемое устройство гидродинамического генератора: 1 – катод; 2 – анод; 3 – токовывод; 4 – токоввод; 5 – полезная нагрузка; 6 – канал движения рабочего тела; 7 – подставка; 8 – фиксатор; 9 – крепеж; 10 – гильза; 11 – гайка; 12 – электроизолирующая прокладка

пени черноты, гайки – для фиксации через токоввод и токовывод катода и анод.

ЛО ГИТЭП работает следующим образом. На катод начинает подаваться рабочее тело, например, продукты сгорания пропана и кислорода. В результате катод нагревается до температур, при которых с его поверхности начинают выходить горячие электроны и за счет проводящей среды продуктов сгорания и контактной разности потенциалов между катодом и анодом попадают на анод и воспринимаются им. Часть тепловой энергии «горячих» электронов идет на нагрев анода, а за счет другой они совершают полезную работу в полезной нагрузке, куда попадают через токовывод. Одновременно за счет развитой внешней поверхности анода, его массивности и степени черноты температура анода поддерживается на уровне ниже температуры катода, что способствует усилению разности потенциалов в течение всего времени работы. После полезной нагрузки «остывшие» электроны через токовывод попадают в катод, и цикл генерации электроэнергии повторяется заново.

На основе данных по плотности тока эмиссии и ресурса выбранных материалов при соответствующих температурах [4–9, 10] можно предполагать следующие характеристики.

#### Ожидаемые характеристики ЛО ГИТЭП

Суммарная электрическая мощность	4–5 Вт
Средняя плотность тока эмиссии	1–2 А/см <sup>2</sup>
Средняя температура катода	1600–1700 К
Средняя площадь эмиссии катода	5–6 см <sup>2</sup>
Генерируемое напряжение	0,75–1,0 В

Так, достоверно известно, что существуют материалы с повышенной эмиссионной способностью (пониженной работой выхода) при нагреве, например торированный вольфрам, который функционирует в среде аргона. В этом случае «отравления» не происходит и за счет более низкой работы выхода электроды функционируют при более низких температурах и не разрушаются.

Однако, в отличие от варианта с инертными газами, в случае применения продуктов сгорания органического топлива существует возможность «отравления» катода и уменьшения термоэмиссии за счет образования новых химических соединений. Но наличие высокоскоростного высокотемпературного потока и высокой температуры катода может привести к компенсации процессов «отравления» путем десорбции и последующего

уноса «отравляющих» элементов. В результате катод может функционировать аналогично функционированию ГИТЭП в среде инертных газов. Предварительные испытания показали, что на некоторых материалах и при определенной температуре продуктов сгорания органического топлива изменений в величине тока не происходит. Однако полученные данные требуют подтверждения.

Материалы можно разделить на две группы: материалы электродов (катода и анода) и материалы конструкции.

В качестве материалов катода и анода предлагаются материалы из гесаборидов, характеризующихся высокими термоэмиссионными и прочностными свойствами при высоких температурах [4–9, 10]. Причем разница между работами выхода катода и анода приводит к появлению полезного напряжения, которое усиливается за счет острой формы катода.

На поверхности катода и анода при высоких температурах могут образовываться химические соединения, уменьшающие термоэмиссионную способность катода и анода, в том числе оксиды и карбиды. Однако наличие высокоскоростного потока позволит обеспечить унос образующихся химических соединений без существенных изменений термоэмиссионных характеристик электродов. Кроме того, в [6] утверждается, что величина низкой работы выхода гесаборидов объясняется внутренней структурой материала.

В качестве материалов токовывода, токоввода и канала движения рабочего тела предлагается освоенная промышленностью сталь ХН78Т с высокими прочностными характеристиками при высоких температурах. Для гильзы предлагается хромоникелевый сплав с интегральной степенью черноты 0,64–0,76. При окислении при более высоких температурах степень черноты может вырасти до 0,86.

Для платформы, крепежа и гаек предлагается применять стандартный для таких изделий материал 14Х17Н2.

Для электроизолирующих прокладок предлагается хорошо зарекомендовавший себя в подобных системах материал на основе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

В настоящий момент ведется выпуск конструкторской документации на элементы ЛО ГИТЭП.

Параллельно ведется разработка ЛО ГИТЭП на основе применения инертных газов.

Разработанные технические решения при создании ЛО ГИТЭП обладают технологической новизной и простотой, базируются на применении отечественных материалов и технологий. Это обуславливает высокую надежность создаваемых на их основе энергетических установок и сокращает сроки их отработки и ввода в эксплуатацию.

## Список литературы

1. Термоэмиссионный электрогенерирующий канал : пат. 2538768 Рос. Федерация : МПК G21C 3/40 / Керножицкий В.А., Колычев А.В., Атамасов В. Д., Романов А. В., Шаталов И. В. ; заявители и патентообладатели: Керножицкий В. А., Колычев А. В., Атамасов В. Д., Романов А. В., Шаталов И.В. – № 2013143069/07 ; заявл. 20.09.2013 ; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.
2. Термоэмиссионный электрогенерирующий канал : пат. на полезную модель № 139811 Рос. Федерация: МПК G21C 3/40 / Керножицкий В. А., Колычев А. В., Ипатов О. С.; заявители и патентообладатели БГТУ Керножицкий В. А., Колычев А. В., Ипатов О. С. – № 2013145364/07 ; заявл. 09.10.2013 ; опубл. 27.04.2014, Бюл. № 12.
3. Колычев А. В., Керножицкий В. А. Гидродинамические термоэмиссионные преобразователи энергетических установок космических аппаратов со сверхдлительным сроком активного существования // Исследования на-укограда. 2017. Т. 1, № 3. С. 126–129. DOI: 10.26732/2225-9449-2017-3-126-129.
4. Ушаков Б. А., Никитин В. Д., Емельянов И. Я. Основы термоэмиссионного преобразования энергии. М. : Атомиздат, 1974. 288 с.
5. Квасников Л. А., Кайбышев В. З., Каландаришвили А. Г. Рабочие процессы в термоэмиссионных преобразова-телях ядерных энергетических установок. М. : Изд-во МАИ, 2001. 240 с.
6. Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма / под ред. Б. Я. Мойжеса, Г. Е. Пикуса. М. : Наука, 1973.
7. Стаханов И. П., Черновец В. Е. Физика термоэмиссионных преобразователей. М. : Энергоатомиздат, 1985.
8. Фоменко В. С. Эмиссионные свойства материалов. Киев : Наук. думка, 1981. 338 с.
9. V. C. Wilson, S. P. Podkulski. Characteristics of a thermionic converter with a chloride vapor deposited tungsten emitter (110) and a nickel collector // NASA contractor report CR-1416. WASHINGTON DC.
10. Кресанов В. С., Малахов Н. П., Морозов В. В. и др. Высокоэффективный эмиттер электронов на основе гекса-борида лантана. М. : Энергоатомиздат, 1987. 152 с.

*История статьи*

*Поступила в редакцию 5 марта 2018 г.*

*Принята к публикации 5 апреля 2018 г.*

## DEVELOPMENT OF THE LABORATORY SAMPLE OF THE HYDRODYNAMIC THERMOEMISSION CONVERTER OF POWER PLANTS OF SPACECRAFTS

**A. V. Kolychev, V. A. Kernozhitskiy, L. P. Unakov, A. A. Levihin**

*Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D. F. Ustinov, Saint Petersburg, Russian Federation*

*Data on the hydrodynamic thermoemission converter developed in D.F. Ustinov Baltic State Technical University «VOENMEH», namely on option of its laboratory sample are provided in the present article. During development laboratory sample of hydrodynamic thermoemission converter was is suggested to create laboratory sample of hydrodynamic thermoemission converter on the basis of reduction of products of combustion of organic fuel. This case creation of the Leningrad Region because of lower labor input of the organization of a flame significantly becomes simpler.*

*Basic elements developed by the Leningrad Region are the cathode – a source of electrons and the anode – the element perceiving the electrons which have left from the cathode, connected through payload.*

*However, in this case there is a problem of change of thermoissue characteristics of a source of electrons – the cathode, both due to processes of «poisoning» (adsorption), and due to possible chemical transformations. However, the conducted preliminary researches have shown that at a certain temperature of a working body reduction of current happens.*

*The laboratory sample is intended for carrying out complex pilot studies of the hydrodynamic thermo-emission converter for two types of working bodies - combustion products of organic fuel and inert gases with additives of alkaline metals. The scope of such converters is independent power sources of the Arctic vehicles and spacecrafts with the superlong term of operation.*

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

## References

1. Kolychev A. V., Kernozhitskiy V. A., e.a. (RU) *Termoemissionnii elektrogeneriruyuschii kanal* [The thermoemission electrogenerating channel]. Patent RU 2538768, 2015, bulletin no. 1. 13 p.
2. Kolychev A. V., Kernozhitskiy V. A., e.a. (RU) *Termoemissionnii elektrogeneriruyuschii kanal* [The thermoemission electrogenerating channel]. Patent RU 139811, 2014, bulletin no. 12. 13 p.
3. Kolychev A.V., Kernozhitskiy V.A. Hydrodynamic thermionic converters power plants of spacecrafts with the superlongterm lifecicle. The Research of the Science City, 2017, vol. 1, no. 3, pp. 126–129. DOI: 10.26732/2225-9449-2017-3-126-129.
4. Ushakov B. A., Nikitin V. D., Emelyanov I. Ya. *Osnovy termoemissionnogo preobrazovaniya energii* [Fundamentals of thermionic energy conversion]. Moscow, Atomizdat Publ., 1974. 288 p.
5. Kvasnikov L. A., Kaybyshev V. Z., Kalendarishvili 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.
6. *Termoemissionnye preobrazovateli i nizektemperaturnaya plazma* [Thermoemission converters and low-temperature plasma]. Pod red. B. YA. Mojzhesa, G. E. Pikusa. Moscow, Nauka Publ., 1973.
7. Stahanov I. P., Chernovec V. E. *Fizika termoemissionnykh preobrazovatelej* [Physics of thermionic converters]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1985.
8. Fomenko V. S. *Emissionnye svoystva materialov* [Emissive properties of materials]. Kiev, Nauk. dumka Publ., 1981. 338 p.
9. Wilson V. C., Podkulski S. P. Characteristics of a thermionic converter with a chloride vapor deposited tungsten emitter (110) and a nickel collector. NASA contractor report CR-1416. WASHINGTON DC.
10. Kresanov V. S., Malahov N. P., Morozov V. V. *Vysokoehffektivnyj ehmitter ehlektronov na osnove gekhsaborida lantana* [Highly efficient electron emitter based on lanthanum hexaboride]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1987. 152 p.

### *Article history*

*Received 5 March 2018*

*Accepted 5 April 2018*