

УДК 629.7.087:538.4:001.2

**М.В. ШЕВЧЕНКО***Днепропетровский национальный университет, Украина***МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЛОГО КАТОДА**

*Приведена методика экспериментальных исследований характеристик центрального полого катода холловского двигателя. Эксперимент предполагается проводить в четыре этапа. Первый – снятие вольт-амперных характеристик (ВАХ) внутреннего разряда полого катода, второй – снятие ВАХ внешнего разряда, при неизменных параметрах внутреннего разряда, третий – исследование влияния параметров внутреннего разряда, на параметры внешнего. В дальнейшем планируется изменение количества эмиссионных отверстий и измерение разрядного тока на отдельные, относительно каждого эмиссионного отверстия, аноды.*

**Ключевые слова:** *центральный полый катод, ВАХ, эмиссионные отверстия катода, ток разряда.*

**Введение**

В последнее время растет интерес к использованию космических аппаратов (КА) малой массы – микроспутников (МС) не требующих использования двигательных установок с большой тягой, позволяющих выполнять задачи, ранее решавшиеся с помощью КА большой и средней массы. Это связано с возможностью уменьшения массы КА за счет миниатюризации электронных приборов. Применение МС требует разработки соответствующих подсистем, в том числе двигательных. При этом необходимо стремиться к повышению энергомассовых характеристик двигательной установки (ДУ). Применение в качестве двигательной установки ДУ с электроракетным двигателем, в частности холловским (ХД), позволит расширить область применения МС.

**1. Формулирование проблемы**

Основной проблемой, сдерживающей использование ЭРДУ на борту космических аппаратов малой массы, является их слабая энерговооруженность. Так, полная потребляемая мощность может составлять 100 – 300 Вт для околоземных орбит и 300 – 650 Вт для длительных перелетов [1]. Соответственно мощность, которая может быть выделена для работы ДУ с ХД, находится в диапазоне 50 – 200 Вт. При этом КПД холловских двигателей, указанной мощности, недостаточно высок. В имеющихся на настоящий момент публикациях [2 – 4] показана возможность получения КПД ХД на уровне 20 – 25% при мощности ~100 Вт. Увеличение КПД двигателя до 30 – 40% требует проведения исследований, направленных на совершенствование конструкции и оптимизацию рабочих процессов.

Одним из методов повышения КПД холловского двигателя, является использование центрального полого катода работающего на цезии. В ОКБ «Факел» были проведены сравнительные испытания [5] стационарного плазменного двигателя (СПД), работающего на ксеноне (двигатель КДУ-2), с применением на нем цезиевого и ксенонового катодов-компенсаторов. В зависимости от мощности и расхода ксенона в ускорителе энергетическая цена тяги в случае использования цезиевого катод-компенсатора уменьшается на 6 – 12%, при этом вольтамперные характеристики ускорителя в рабочем диапазоне напряжений одинаковы. Улучшение энергетических характеристик двигателя с цезиевым катодом-компенсатором объясняется низким потенциалом ионизации цезия ( $\phi_{iCs} = 4$  эВ). В этом случае уменьшается и прикатодное падение потенциала, что также приводит к улучшению тяговых характеристик. Также в ОКБ «Факел» был исследован двигатель с расположением компенсатора в его центральном магнитопроводе. Результаты исследований показали, что такая установка катод-компенсатора позволяет устранить отклонение вектора тяги от геометрической оси двигателя в сторону работающего катода, присущее двигателю с расположением компенсатора вне него. В этом случае уменьшаются также затраты на транспортировку электронов из катодной полости к плазменному пучку. Все это дает повышение тяговых характеристик двигателя на 5 – 7%. Кроме того, центральное расположение компенсатора защищает его от бомбардировки ускоренными ионами двигателя и облегчает юстировку двигателя на КА.

Центральное расположение катода предполагает изготовление магнитопровода с полым осевым отверстием, соответствующим диаметру катода.

При этом увеличение диаметра отверстия приводит к уменьшению поперечного сечения магнитопровода, что может вызвать его насыщение и перевести работу двигателя в аномальный режим. Проведенные в Днепрпетровском национальном университете исследования [6] показали, что наличие отверстия диаметром 5 мм в центральном магнитопроводе двигателя с наружным диаметром разрядной камеры 37 мм не оказывает заметного влияния на его интегральные характеристики и режимы работы.

**Целью работы** является экспериментальное исследование влияния параметров внутреннего разряда и количества эмиссионных отверстий на ток внешнего разряда полого катода.

## 2. Планируемая методика исследований

Испытания центрального полого катода рис. 1 планируется проводиться в четыре этапа.

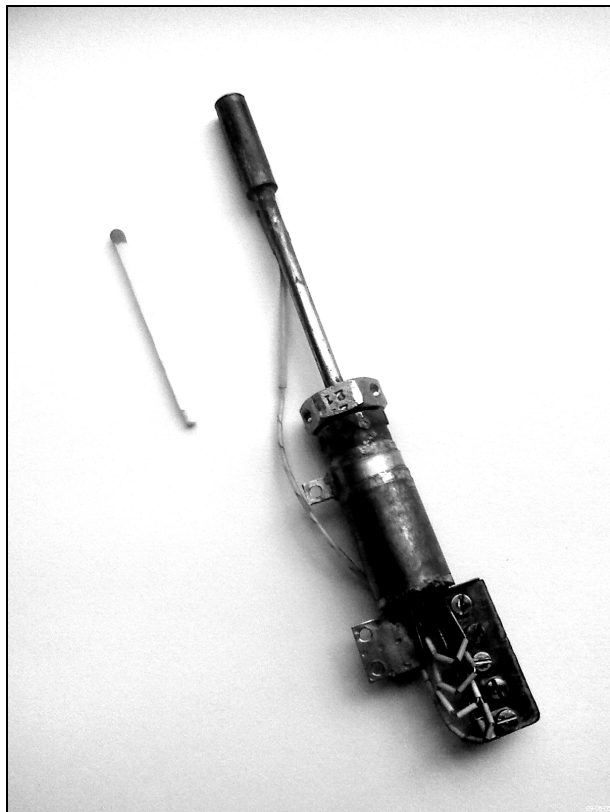


Рис. 1. Центральный полый катод

Схема проведения испытаний приведена на рис. 2. На первом этапе производится снятие вольт-амперных характеристик внутреннего разряда. Для этого нагревается бак с рабочим телом (РТ) и снимаются показания милливольтметра «В4» термопары бака с РТ, что позволяет определить расход рабочего тела. Регистрируется температура бака, при которой загорается внутренний разряд.

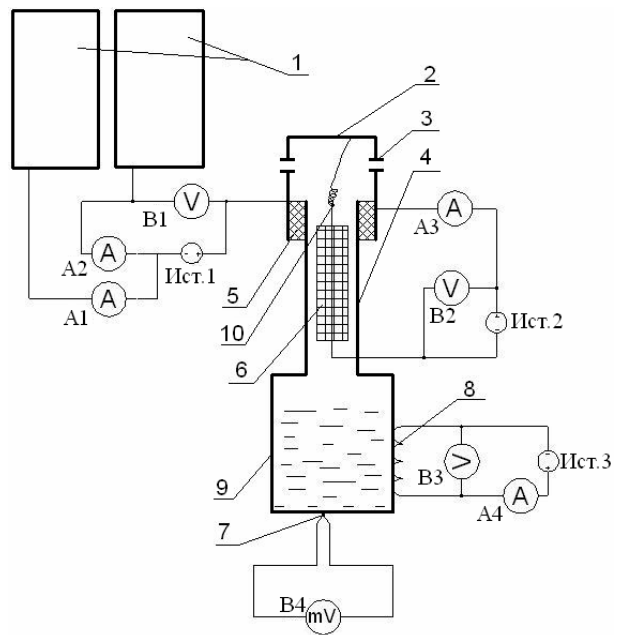


Рис. 2. Схема испытаний полого катода:  
1 – аноды внешнего разряда; 2 – катод внешнего разряда (анод внутреннего разряда); 3 – эмиссионные отверстия; 4 – катод внутреннего разряда; 5 – изолятор; 6 – изолятор нагревателя; 7 – термопара; 8 – нагреватель бака РТ; 9 – бак РТ; 10 – нагреватель катода

Регистрируются параметры контура нагрева «Ист.3»: с вольтметра «В3» снимаются показания напряжения в цепи нагрева РТ  $U_H$ ; с амперметра «А4» – показания силы тока  $I_H$ .

Далее ступенчато, с шагом 0,5 В, изменяем напряжение горения внутреннего разряда  $U_{Вн}$  и фиксируем показания амперметра «А3» ( $I_{Вн}$ ), в цепи питания «Ист.2». По снятым параметрам составляется зависимость  $U_{Вн}$  от  $I_{Вн}$ , при постоянном расходе, которому соответствует определенная температура бака с РТ, а соответственно,  $U_H$  и  $I_H$ . По результатам эксперимента строится вольтамперная (ВАХ) характеристика внутреннего разряда, при определенном расходе РТ.

На втором этапе производится снятие вольтамперных характеристик внешнего разряда, при неизменных параметрах внутреннего. При нагревом, до установленной температуры, баке с РТ, и внутреннем разряде с определенными  $U_{Вн}$  и  $I_{Вн}$ , снимаем показания горения внешнего разряда с вольтметра «В1» ( $U_{Вш}$ ) и амперметра «А1» ( $I_{Вш1}$ ), которые находятся в цепи питания «Ист.1». По результатам эксперимента строится ВАХ внешнего разряда, при фиксированных параметрах внутреннего разряда.

На третьем этапе исследуется влияние пара-

метров внутреннего разряда, на изменение параметров внешнего. При постоянном напряжении  $U_{Вш}$ , меняем параметры внутреннего разряда: расход РТ, определяемый степенью нагрева бака с РТ, и разрядное напряжение внутреннего разряда  $U_{Вн}$ . По результатам эксперимента строятся графики зависимостей  $I_{Вш}$ , от изменяемых параметров внутреннего разряда ( $U_{Вн}$ ;  $m$ )

Четвертый этап проходит по аналогии со вторым, только с добавлением дополнительных эмиссионных отверстий в катоде и дополнительных анодов, изолированных друг от друга.

При нагревом, до установленной температуры, баке с РТ, и внутреннем разряде с фиксированными  $U_{Вн}$  и  $I_{Вн}$ , снимаем показания с вольтметра «В1» ( $U_{Вш}$ ) и амперметров «А1» ( $I_{Вш1}$ ) и «А2» ( $I_{Вш2}$ ), которые находятся в цепи питания «Ист.1» внешнего разряда. По результатам эксперимента составляется таблица (график), в которой сведены показания токов  $I_{Вш1}$  и  $I_{Вш2}$ .

### Заключение

Таким образом, приведенная методика позволит получить базовые характеристики катода, которые будут использоваться для оценки эффективности его работы в составе двигателя.

### Литература

1. Bugeat I. Development of a second generation of SPT / I. Bugeat, C. Koppel // 24 th International Electric Propulsion Conference. IEPC 95-35. – Moscow, September, 1995. – P. 995-997.
2. Small SPT Unit Development and Tests / B. Arkhipov, V. Kim, A. Koryakin, V. Murashko, A. Nesterenko, A. Skrylnikov // 3th International Conference on Spacecraft Propulsion. ESA SP-465. – Cannes, France, 2000. – P. 399-401.
3. Холловский двигатель малой мощности / С.Н. Кулагин, И.Н. Стаценко, Л.Г. Дубовик, Л.Б. Кабакова, Ю.В. Манец // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: ХАИ, 2003. – Вып. 40/5. – С. 156-158.
4. Кулагин С.Н. Исследование характеристик микротягового СПД / С.Н. Кулагин, Л.Г. Дубовик, М.Ю. Гонтарев // Проблемы высокотемпературной техники: сб. научн. тр. – Д.: ДНУ, 2002. – С. 74-76.
5. Electric Propulsion System for Spacecraft Acceleration and Maneuvering Durings Flight to Asteroids / B. Arkhipov, A. Bober, N. Maslennikov, G. Popov // 24.th International Electric Propulsion Conference, IEPC-95-231. – Moscow (Russia), 1995.
6. Исследование холловского двигателя с полым магнитопроводом // С.Н. Кулагин, А.В. Хитыко, Л.Г. Дубовик, Н.В. Масляный // Проблемы высокотемпературной техники: сб. научн. тр. – Д.: ДНУ, 2004. – С. 76-79.

Поступила в редакцию 29.05.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук А.В. Сичевой, Днепропетровский национальный университет, Днепропетровск.

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЛОГО КАТОДА

*М.В. Шевченко*

Анотація Наведена методика експериментальних досліджень характеристик центрального полого катода холловського двигуна. Експеримент передбачається проводити в чотири етапи. Перший – зняття вольт-амперних характеристик (ВАХ) внутрішнього розряду полого катода, другий – зняття ВАХ зовнішнього розряду, при незмінних параметрах внутрішнього, третій – дослідження впливу параметрів внутрішнього розряду, на параметри зовнішнього. У подальшому планується зміна кількості емісійних отворів та вимірювання розрядного струму на окремі, відносно кожного емісійного отвору, аноди.

**Ключові слова:** центральний полий катод, ВАХ, емісійні отвори катода, струм розряду.

### SENTRAL HOLLOW CATHODE RESEARCH METHODIC

*M.V. Shevchenko*

Annotation Hollow thruster central hollow cathode characteristics experimental research technique is resulted. Experiment is suppose to be made by four stages. The first is cathode internal discharge volt-amperic characteristics (VAC) research, the second is external discharge VAC research with internal discharge invariable parameters, the third is internal discharge parameters influence on the external parameters research. Changing of issue apertures quantity and measurement of discharge current on separate, concerning each aperture, anode is planed further.

**Key words:** the central hollow cathode, VAC, cathode issue aperture, discharge current.

**Шевченко Мирослав Владимирович** – ведущий инженер НИИ энергетики Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара, Днепропетровск, Украина, e-mail: minas.melekes@gmail.com.