

УДК 537

А.В. ХИТЬКО

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара, Украина

РАБОТА ГАЗОРАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ ИСТОЧНИКА ИОНОВ С МНОГОКАТОДНЫМ УЗЛОМ

В статье рассмотрены вопросы особенностей работы камеры ионизации плазменного ионного двигателя, который перспективен для межпланетных перелетов. С целью выравнивания концентрации плазмы в поперечном сечении газоразрядной камеры источника ионов с повышенной площадью пучка возникла необходимость в рассредоточении потока первичных электронов. В связи с этим несомненный интерес представляет проблема работы нескольких катодов на один анод. Приведены результаты исследования газоразрядной камеры источника ионов с многокатодным узлом. Установлено, что ток эмиссии с катодного узла равен сумме токов эмиссии работающих катодов. Количество работающих катодов определяется величиной разрядного тока. Предложена последовательность проектирования катодного узла. По необходимой величине разрядного тока и требуемому количеству единичных катодов определяется величина тока эмиссии одного катода. По току эмиссии одного катода выбираются его рабочие параметры и геометрические размеры. По размерам единичного катода и газоразрядной камеры в целом из условия равномерного распределения плотности плазмы и проектируется катодный узел.

Ключевые слова: катод, эмиссия, источник ионов, газоразрядная камера, электрический ракетный двигатель, электрон.

Введение

В задачах межорбитальных перелетов и маневрирования на орбите электроракетные двигатели (ЭРД) пока не используются. Применяемые для этих целей двигатели на химическом топливе могут быть заменены ЭРД лишь в том случае, если будут даны убедительные доказательства их значительных преимуществ [1].

Двигательные установки на химическом топливе, используемые для межорбитальных перелетов, имеют значительно более низкий удельный импульс в сравнении с ЭРД, величина которого не превышает 500 с. Это приводит к значительному увеличению запаса рабочего тела и снижению доли полезной нагрузки в стартовом весе ракеты.

При сравнении ЭРД с двигателями на химическом топливе применительно к задачам межорбитальных перелетов и маневрирования на орбите первым можно отдать предпочтение, когда в составе полезной нагрузки или самого космического летательного аппарата (КЛА) имеется достаточно мощная энергоустановка. В этом случае в некоторых задачах целесообразно использовать гибридную двигательную установку с жидкостным ракетным двигателем и ЭРД.

Наилучшие характеристики в области удельных импульсов выше 3000 с и К.П.Д. выше 70% имеет электростатический ионный двигатель. Этот

двигатель рассматривается как маршевый для полета к планетам солнечной системы.

Формулирование проблемы

Для эффективной работы ионно-оптической системы плазменного ионного двигателя необходимо обеспечить высокую однородность концентрации плазмы в поперечном сечении камеры ионизации перед экраным электродом. Одной из причин неоднородности концентрации плазмы является неравномерность ввода электронов в камеру ионизации.

Проблема выравнивания концентрации плазмы в поперечном сечении газоразрядной камеры источника ионов с повышенной площадью пучка может быть решена путем рассредоточения потока первичных электронов. В связи с этим возникла проблема параллельной работы нескольких катодов на один общий анод [2].

Решение проблемы

Многокатодная разрядная система может быть построена двумя способами.

Первый способ заключается в том что, система состоит из самостоятельных идентичных катодов, имеющих отдельные системы подачи рабочего тела и индивидуальные нагреватели. Этот способ при-

влекателен тем, что позволяет регулировать параметры плазмы в районе каждого катода, но очень сложен конструктивно.

Второй способ заключается в создании многокатодного узла с единой системой подачи рабочего тела и общим нагревателем. Конструкция такого узла представляет несколько катодов, равномерно расположенных по окружности, связанных между собой полостью, через которую осуществляется подача рабочего тела. Нагреватель для всех катодов общий и расположен по периметру катодного узла. Наличие связующей полости позволяет согласовать давление в полости катодов [3].

Каждый из полых катодов представляет собой трубку, закрытую крышкой. Рабочее тело (цезий) подводится в полость катодного узла. Анод изготовлен в виде усеченного конуса.

В работе приведены результаты исследования характеристик разряда с восьмикатодным узлом. Исследования проводились на экспериментальной модели плазменно-ионного двигателя диаметром 200 мм, разработанного на кафедре двигателестроения Днепропетровского национального университета. В качестве рабочего тела использовался цезий.

Поджиг разряда осуществлялся при разности потенциалов между катодом и анодом $I_p = 40...50$ В. При этом разряд загорался одновременно на всех катодах. Исследовалась вольтамперная характеристика (ВАХ) разряда, регистрируемая при снижении разрядного напряжения от порога зажигания разряда до нуля.

Вид ВАХ разряда с многокатодным узлом качественно совпадает с ВАХ единичного катода и имеет характерный режим насыщения тока с «полкой» на характеристике.

Если следовать теории газовых разрядов [4], излом характеристики происходит при равенстве тока разряда полному току эмиссии катода. Следовательно, положение точки изгиба на ВАХ разряда определяет полный ток эмиссии электронов с катодного узла.

Снижение разрядного тока до значений, меньших тока эмиссии, сопровождалось постепенным погасанием части катодов. При минимальных значениях тока разряда наблюдался режим, когда из восьми катодов работал только один. Это позволяет оценить величину тока эмиссии с одного катода.

Увеличение напряжения разряда с одним катодом в режиме насыщения тока разряда приводит к «поджигу» второго катода, расположенного рядом с работающим. При этом величина разрядного тока увеличилась вдвое, а напряжение разряда уменьшилось.

Аналогичным образом протекал процесс включения остальных катодов. Приращение тока разряда

при поджиге очередного катода оставалось постоянным и равным току эмиссии с единичного катода.

Общий ток эмиссии с катодного узла представлялся как

$$I_{\Sigma} = I_{\Sigma 1} \cdot n,$$

где n – количество катодов; $I_{\Sigma 1}$ – ток эмиссии одного катода.

На ВАХ разряда имеются «ступеньки», каждая из них связана с единичным катодом, который включается в работу при возрастании разрядного тока.

Анализ полученных закономерностей разряда с многокатодным узлом позволил сформулировать следующие рекомендации.

С целью обеспечения равномерной нагрузки на катодный узел в целом, т.е. достижения условий, когда разряд горит на всех катодах одновременно, величина тока разряда должна быть больше либо равна суммарному току эмиссии всех катодов, который определяется их геометрическими размерами.

Заключение

На основании полученных результатов представляется возможным предложить следующую последовательность проектирования камеры ионизации плазменно-ионного двигателя с многокатодным узлом:

1. По необходимой величине разрядного тока камеры ионизации и требуемой однородности профиля концентрации плазмы перед ускоряющей системой определяется необходимое количество единичных катодов и величина тока одного катода.

2. По току эмиссии одного катода выбираются его рабочие параметры и геометрические размеры [5].

3. По размерам катода и газоразрядной камеры из условия равномерного распределения плотности плазмы проектируется катодный узел.

Из приведенных результатов следует, что количество работающих катодов однозначно определяется величиной тока разряда, зависящей как от параметров цепи разряда, так и от внешних условий.

Литература

1. *Космические двигатели: состояние и перспективы: Пер. с англ./ Под ред. Л.Кейвини. – М.: Мир, 1988. – 454 с.*
2. *Кауфман Х.Р. Конструирование ионных источников для промышленного применения / Х.Р. Кауфман, Р.С. Робинсон // Аэродинамическая техника. – 1983. – Т. 1, № 1. – С. 42-63.*

3. Delcroix J.L. *Hollow Cathode Arcs* / J.L. Delcroix, A.R. Trindade // *Advances in Electronic and Electron Physics*. – 1974. – Vol. 35. – P. 87-190.

4. Грановский В.Л. *Электрический ток в газах. Установившийся ток* / В.Л. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 544 с.

5. Приданцев В.Ф. *Методика оценки параметров полых катодов* // В.Ф. Приданцев // *Проблемы высокотемпературной техники*. – Днепропетровск: ДГУ, 1979. – С. 119-127.

Поступила в редакцию 7.05.2009

Рецензент: д-р техн. наук, зав. кафедрой А.В. Сичевой, Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара, Днепропетровск, Украина.

РОБОТА ГАЗОРОЗРЯДНОЇ КАМЕРИ ДЖЕРЕЛА ІОНІВ З БАГАТОКАТОДНИМ ВУЗЛОМ

А.В. Хитько

У статті розглянуто питання особливостей роботи камери іонізації плазмового іонного двигуна, що перспективний для міжпланетних перельотів. З метою вирівнювання концентрації плазми в поперечному перетині газорозрядної камери джерела іонів з підвищеною площею пучка виникла необхідність у розосередженні потоку первинних електронів. У зв'язку із цим безсумнівний інтерес представляє проблема роботи декількох катодів на один анод. Наведено результати дослідження роботи газорозрядної камери джерела іонів з багатокатодним вузлом. Встановлено, що струм емісії з катодного вузла дорівнює сумі струмів емісії працюючих катодів. Кількість працюючих катодів визначається величиною розрядного струму. Запропоновано послідовність проектування катодного вузла. За необхідною величиною розрядного струму і потрібною кількістю одиничних катодів визначається величина струму емісії одного катода. За струмом емісії одного катода вибираються його робочі параметри й геометричні розміри. За розмірами одиничного катода й газорозрядної камери в цілому з умови рівномірного розподілу густини плазми проектується катодний вузол.

Ключові слова: катод, емісія, джерело іонів, газорозрядна камера, електричний ракетний двигун, електрон.

WORK OF THE GAS-DISCHARGE CHAMBER SOURCE OF IONS WITH MULTICATHODIC KNOT

A.V. Khitko

The plasma ionic engine, which is perspective for interplanetary flights, ionization chamber working features questions are considered in this article. For the purpose of alignment of concentration of plasma in cross-section section of the gas-discharge chamber of a source of ions with the raised area of a bunch there was a necessity for dispersal of a stream primary електронів. In this connection doubtless interest is represented by a problem of work of several cathodes on one anode. Results of research of work of the gas-discharge chamber of a source of ions with multicathode knot are resulted. It is established, that the current of issue from cathode knot is equal to the sum of currents of issue of working cathodes. The quantity of working cathodes is defined by size of a digit current. Предложена sequence of designing of cathode knot. On necessary size of a digit current and demanded quantity of individual cathodes the size of a current of issue of one cathode is defined. On a current of issue of one cathode its working parameters and the geometrical sizes get out. On the sizes of the individual cathode and the gas-discharge chamber as a whole from a condition of uniform distribution of density of plasma the cathode knot is projected.

Keywords: the cathode, issue, a source of ions, the gas-discharge chamber, electric rocket engine, electron.

Хитько Андрей Владимирович – канд. техн. наук, с.н.с., директор НИИ энергетики Днепропетровско-го национального университета им. Олеса Гончара, Днепропетровск, Украина.