

УДК 629.78

А.В. ХИТЬКО, А.М. ЧЕРКУН

Днепропетровский национальный университет, Украина

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОЛОГО КАТОДА С ВНУТРЕННИМ РАЗРЯДОМ

В статье приведена методика расчета параметров полого расходного катода с внутренним вспомогательным разрядом. Катод рассчитан на токи до 0,2А и потребляемую мощность до 20 Вт. Она основана на анализе и обобщении экспериментальных данных. В ней учтена необходимость смены полярности источника электропитания внутреннего разряда при определенной температуре бачка с рабочим веществом. Расчет проводится для критической плотности тока в отверстии катода. Параметры эмиттера и соответствующее значение плотности эмиссионного тока находятся для оптимальной температуры. Это обеспечивает минимальное энергопотребление катода.

Ключевые слова: полый катод, внутренний разряд, критическая плотность тока, давление в полости катода, электрореактивный двигатель.

Введение

В настоящее время активно разрабатываются и используются космические летательные аппараты (КЛА) массой до 100 кг, что обусловлено значительными успехами в миниатюризации электроники и развитию нанотехнологий. Для решения задач коррекции орбиты и ориентации таких КЛА эффективно использовать электрореактивные двигательные установки (ЭРДУ), которые позволяют более экономно использовать запас рабочего тела на борту КЛА. Параметры микро ЭРДУ во многом определяются эффективностью работы катода.

Возникла необходимость создания катодов компенсаторов потребляющих мощность до 20 Вт и рассчитанных на компенсацию ионных пучков с током до 0,2А. Уменьшить ток эмитируемую катодом можно посредством уменьшения давления в его полости. Однако для расходных диафрагмированных полых катодов традиционной схемы построения существует минимальное давление в полости (~1 мм.рт.ст.), начиная с которого реализуется эффект полого катода. Соответствующее значение эмиссионного тока, определяемое концентрацией плазмы в полости, является минимально возможным. Для традиционных катодов эта величина составляет примерно 200 мА. При этом работа катода у порога зажигания дуги неустойчива и возможен срыв рабочего режима [1]. С целью снижения величины минимального эмиссионного тока и обеспечения устойчивой работы в полости катода организован вспомогательный внутренний разряд, обеспечивающий существование плазмы при более низких давлениях [2]. Эмиссия электронов в этом случае осуществляется с поверхности внутреннего плазменного образования под

действием напряжения, приложенного между катодом и анодом. При этом давление в полости катода уменьшено до 10^{-2} мм.рт.ст.

Целью статьи является разработка методики расчета параметров полого расходного цезиевого катода с внутренним разрядом, базируясь на экспериментальных данных.

Решение задачи

Методика расчета полого расходного катода с внутренним разрядом построена на анализе экспериментальных данных. Они обобщены в виде эмпирических зависимостей коэффициенты в которых определены из эксперимента.

Исходными данными для проектирования катода являются ток внешнего разряда (I_p), рабочее тело и тип активатора. В результате расчета, задавшись его размерами и конфигурацией, необходимо определить следующие параметры: температуру эмиттера (T_k), ток ($I_{рвн}$), напряжение ($U_{рвн}$) и мощность внутреннего разряда ($N_{рвн}$), давление в полости катода (P_k), температуру бачка с рабочим телом (T_0), массовый расход рабочего тела.

Зависимость электронного тока от температуры в бачке при разных полярностях внешнего и внутреннего электрода приведена на рис. 1. Анализ кривых показывает, что до температуры 182°C больший ток с катода наблюдается, если внешний электрод находится под положительным потенциалом, а внутренний под отрицательным. После 182°C необходима смена полярности электродов внутреннего разряда для увеличения тока внешнего разряда. Это обусловлено сменой условий токопереноса при увеличении давления в полости катода.

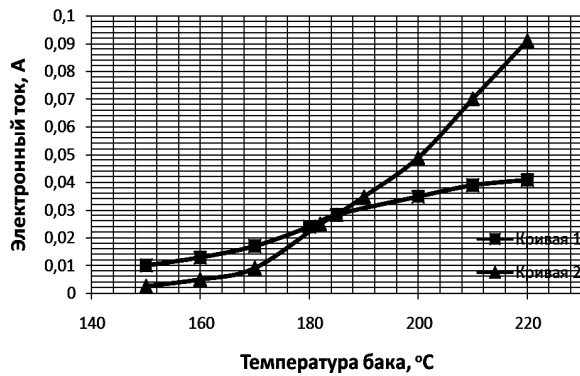


Рис. 1. Зависимость электронного тока от температуры бачка.

- 1 – внешний электрод «+», внутренний «-».
2 – внешний электрод «-», внутренний «+».

Методика расчета полого расходного катода с внутренним разрядом (рабочее тело - цезий):

1. Задаем диаметр отверстия диафрагмы катода ($d_{отв}$) и определяем плотность тока в отверстии:

$$j_{отв} = \frac{I_p}{S_{отв}}.$$

2. Принимаем, что плотность тока в отверстии равна критической [3]. По рис. 2 или соотношению (1) определяем

$$P_k = 1,081 \cdot 10^{-9} \cdot j_{отв}^{1,15}. \quad (1)$$

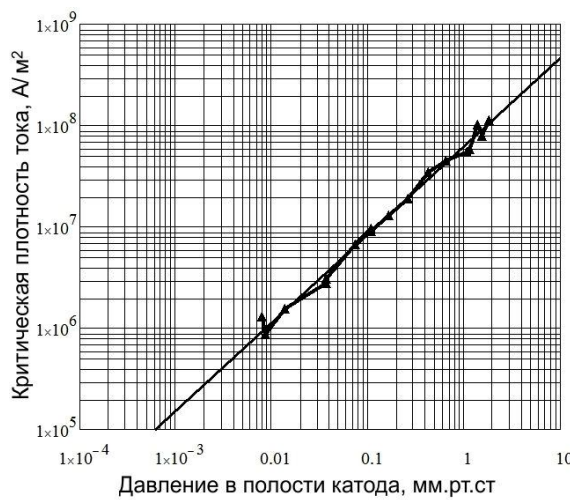


Рис. 2. Зависимость плотности критического тока от давления в полости катода

3. Зная давление в полости катода (P_k) определяем температуру бачка с рабочим телом по соотношению (2):

$$T_б = \frac{3750}{6,88 - \lg(P_k)}. \quad (2)$$

4. По соотношению (3) определяем массовый расход рабочего тела

$$\dot{m} = \frac{0,8325 \cdot d_{отв}}{\sqrt{RT}} \cdot 10^{6,88} \cdot \frac{3750}{T}. \quad (3)$$

5. Зная давление в полости по зависимости (4) или рис.3 определяем оптимальную температуру поверхности эмиттера для минимального энергопотребления катода [3]:

$$T_{к,опт} = 5,879 \cdot \ln(P_k) + 952,3. \quad (4)$$

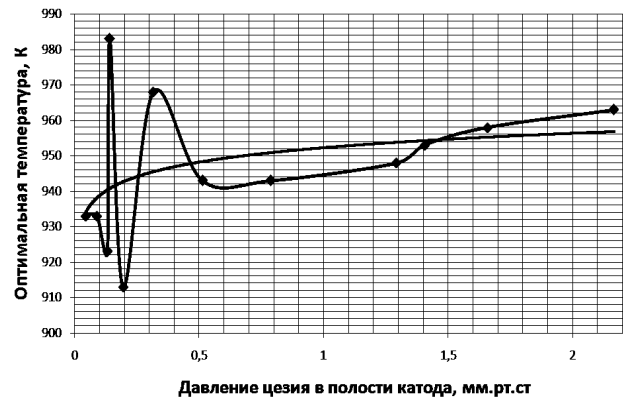


Рис. 3. Зависимость оптимальной температуры эмиттера от давления в полости катода

6. Находим плотность эмиссионного тока с поверхности эмиттера при оптимальной температуре по зависимости (5) или рис. 4.

$$j_{эм} = 2,567 \ln(P_k) + 15,45 \quad (5)$$

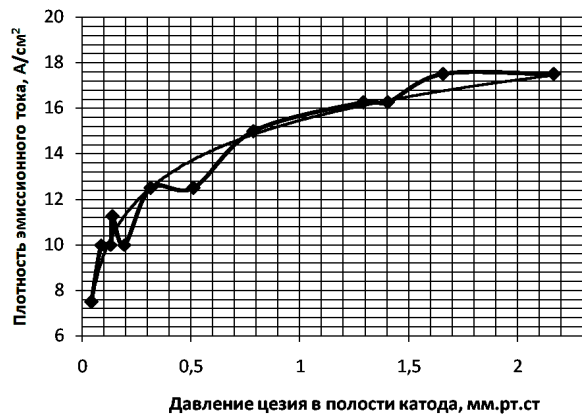


Рис. 4. Зависимость плотности эмиссионного тока от давления в полости катода при оптимальной температуре

7. Задаем диаметр катода d_k и находим площадь внутреннего электрода, которая равна площади эмиссии S_k .

8. Определяем ток внутреннего разряда

$$I_p = j_{эм} \cdot S_k.$$

9. Зная $I_{рвн}$ и $T_б$ определяем напряжение внутреннего разряда U_p следующим образом:

– если $T_6 \geq 182^\circ\text{C}$, то

$$U_p = (72,88 \cdot I_{p_{\text{вн}}}^{6,681}) T_6^{(-1,13 \cdot \ln(I_{p_{\text{вн}}}) - 0,584)};$$

– если $T_6 \leq 182^\circ\text{C}$, то

$$U_p = (2,17 \cdot 10^5 \cdot I_{p_{\text{вн}}}^{7,91}) T_6^{(-1,47 \cdot \ln(I_{p_{\text{вн}}}) - 2,104)}.$$

10. Находим мощность внутреннего разряда

$$N_{p_{\text{вн}}} = I_{p_{\text{вн}}} \cdot U_p.$$

Заключение

Таким образом, разработана методика оценки параметров полого расходного катода с внутренним разрядом (рабочее тело – цезий). Она основана на обобщении экспериментальных данных в виде эм-

пирических зависимостей. Данная методика применима для катодов ЭРД малой мощности (до 200 Вт).

Литература

1. Грановский В.Л. *Электрический ток в газе* / В.Л. Грановский. - М.: Наука, 1971. – 529 с..
2. Хитько А.В. *Двухступенчатый полый катод* / А.В.Хитько // *Современные проблемы ДЛА: Труды 3-й Всесоюз. науч.-техн. конф.* – М.: МАИ, 1986. – С. 265-270.
3. Хитько А.В. *Исследование закономерностей активации поверхности катода с внутренним разрядом* / А.В. Хитько, А.М. Черкун // *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки.* – Д.: ДНУ, 2009. – Т. 9. – С. 93-97.

Поступила в редакцию 30.05.2010

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

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПОЛОГО КАТОДУ З ВНУТРІШНІМ РОЗРЯДОМ

А.В. Хитько, О.М. Черкун

У статті приведена методика розрахунку параметрів полого витратного катода з внутрішнім допоміжним розрядом. Катод розрахований на струми до 0,2А і споживає потужності до 20 Вт. Вона основана на аналізі і узагальненні експериментальних даних. У ній врахована необхідність зміни полярності джерела електроживлення внутрішнього розряду при певній температурі бачка з робочою речовиною. Розрахунок проводиться для критичної щільності струму в отворі катода. Параметри емітера і відповідне значення щільності емісійного струму знаходяться для оптимальної температури. Це забезпечує мінімальне енергоспоживання катода.

Ключові слова: порожнистий катод, внутрішній розряд, критична щільність струму, тиск в порожнині катода, електрореактивний двигун.

METHOD OF CALCULATION PARAMETERS OF HOLLOW CATHODE WITH INTERNAL DISCHARGE

A.V. Khitko, A.M. Cherkun

In the article the method of calculation of parameters of the hollow cathode with internal discharge is resulted. Cathode designed on current 0.2 A and consuming power 20 Watt. The method is based on analysis of experimental data. Necessity of changing polarity of power supply at certain temperature of the tank is taken into account. Calculation is conducted for the critical density of current in the cathode's bore. Emitters parameters and values of density of emission current are calculated for optimal temperature. This provides minimum energy consumption.

Key words: hollow cathode, internal discharge, critical density of current, pressure in the cavity of cathode, electric thruster.

Хитько Андрей Владимирович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник НИИ энергетики Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара, Днепропетровск, Украина.

Черкун Алексей Михайлович – студент Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара, Днепропетровск, Украина.