

УДК 533.9.07

**Н.Н. КОШЕЛЕВ, А.В. ЛОЯН, О.П. РЫБАЛОВ, Е.И. ИЩЕНКО***Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина***МАЛОГАБАРИТНЫЙ КАТОД ДЛЯ ЭРД**

Рассматривается возможность проектирования эффективного малогабаритного полого газового катода с током 2А. Обсуждается катод с безнакальным запуском, в котором использован скандатный эмиттер, работающий с плотностью тока  $70\text{А/см}^2$ . Представлены макет и схема испытательного стенда эмиттера в условиях ксенонового газового разряда. Показано, что работа эмиттера в режиме повышенной плотности тока может быть достаточно продолжительной и незначительно влияет на ресурс катода. Приведены вольтамперные и вольтрасходные характеристики инженерной модели двухамперного катода.

**газовый разряд, безнакальный полый катод, эмиттер****Введение**

Многолетние исследования и успешное применение в двигательных установках газоразрядных полых катодов показали высокие эксплуатационные и ресурсные возможности их традиционных схем. Это катоды, конструкция которых представляет жаростойкую диафрагмированную трубку с эмиссионной вставкой, стартовым нагревателем и электродом поддержки (киппером). Через катод прокачивается инертный газ (обычно ксенон) для создания плазменной проводящей среды. Наличие резистивного нагревателя и киппера, обычно совмещенного с внешним корпусом, приводит к внушительным габаритным размерам таких катодов.

Эффективность и надежность некоторых электроактивных двигателей (ЭРД) могла быть увеличена с применением катодов малого диаметра. Например, центральное расположение катода в стационарном плазменном двигателе (СПД) может увеличить его эффективность на 5 – 10% [1]. Надежность ионного двигателя существенно возрастает при возможности резервирования катода газоразрядной камерой.

Наиболее перспективными газовыми полыми катодами с малым диаметром являются безнакальные катоды, в которых отсутствуют детали, увеличи-

вающие его габариты. Кроме того, использование эмиссионных материалов способных работать в условиях высокой плотности тока могут существенно уменьшить диаметр рабочей части эмиттера, что, соответственно, приведет к уменьшению габаритов катода.

**Результаты исследований**

*Испытания эмиттера.* При разработке слабых катодов (до 1А), в которых масса и габариты основных деталей играют существенную роль в тепловых потерях и снижают его эффективность, были исследованы возможности применения ряда новых эмиссионных материалов. По результатам предварительных испытаний был выбран эмиттер, изготовленный способом высокотемпературной пропитки вольфрамовой губки скандатом бария. Этот эмиттер прошел вакуумные испытания на предмет эмиссионных, температурных, ресурсных и отравляющих свойств [2].

С целью проверки ресурсных характеристик эмиттера в условиях адекватных катодным была изготовлена герметичная стеклянная колба (рис. 1). В колбу встраивались эмиттерный блок и анод с промежутком равным зазору эмиттер-диафрагма в полой катоде. Объем колбы наполнялся ксеноном до давления 50 тор.

Инициирование разряда в колбе производилось подачей высокого напряжения (до 1000 вольт) от специального источника питания между катодом (эмиттером) и анодом. После прогрева эмиттера энергией тлеющего разряда в течение 1 – 3 секунд, разряд переходил в низковольтную дуговую форму.

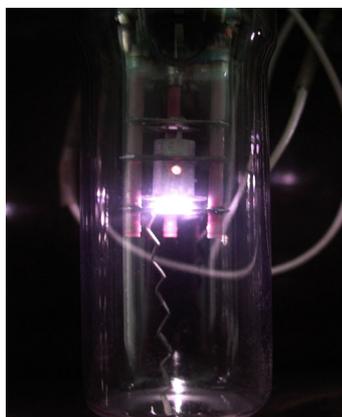


Рис. 1. Герметичная стеклянная колба

Схема испытательного стенда эмиттера представлена на рис. 2. Он включал в себя закрепленную на штативе колбу, источник питания с амперметром и вольтметром, пирометр и спектрометр. В течение длительных испытаний контролировались ток и напряжение разряда, температура эмиттера и спектральные характеристики плазмы [3].

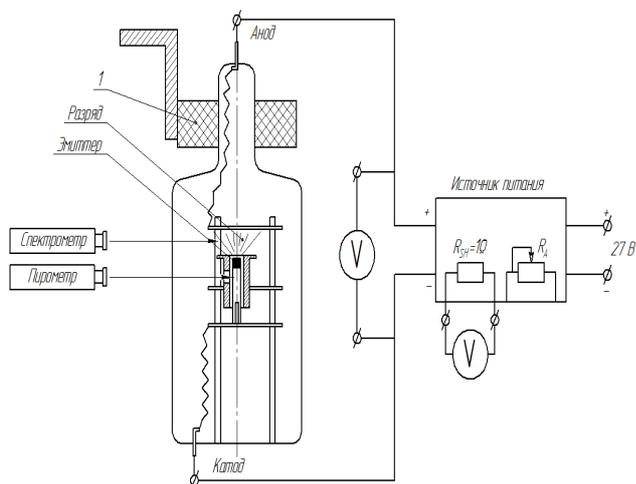


Рис. 2. Схема испытательного стенда эмиттера

Одним из результатов испытаний скандатного эмиттера в условиях разряда в колбе явилось изменение температуры и напряжения разряда от плотности тока на катоде. При плотности тока  $70 \text{ A/cm}^2$  напряжение в разряде и температура эмиттера остаются в

допустимых пределах. При этом унос эмиссионного материала (Ва) может, существенно возрасти.

*Определение эрозионной стойкости эмиттера.* Спектр излучения разряда вблизи поверхности эмиттера регистрировался оптическим эмиссионным спектрометром HR2000, у которого диапазон контролируемых длин волн лежит в пределах от 387 нм до 829 нм. Для определения величины параметра эрозии, численно характеризующего интенсивность процесса, были выбраны следующие спектральные линии: резонансная линия бария –  $\lambda_{u,0} = 553,55 \text{ нм}$ ,  $E_u = 2,24 \text{ эВ}$ ; линии ксенона –  $\lambda_{\alpha} = 823,16 \text{ нм}$ ,  $E_{\alpha} = 9,82 \text{ эВ}$ ,  $\lambda_{\beta} = 556,615 \text{ нм}$ ,  $E_{\beta} = 11,81 \text{ эВ}$ .

Расчетное выражение для параметра эрозии в приближении локального термодинамического равновесия имеет вид [4]:

$$\mu_{Ba} = I_{Ba-553} \left( \frac{I_{Xe-823}}{I_{Xe-556}} \right)^{1,126}$$

Оценка скорости эрозии от плотности тока на эмиттере представлена на рис. 3.

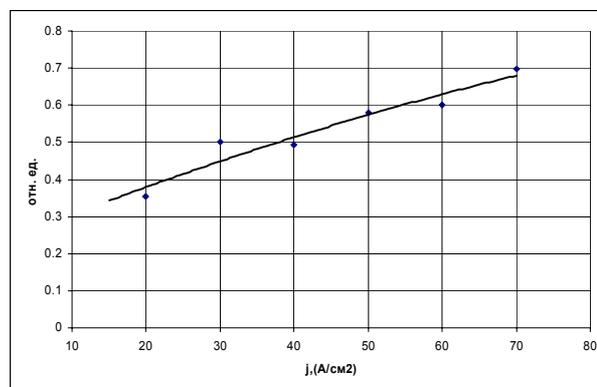


Рис. 3. Оценка скорости эрозии от плотности тока на эмиттере

Из графика видно что, при увеличении плотности тока в пять раз, унос Ва увеличивается вдвое. Однако приведенные измерения имеют качественный характер и должны быть проверены. Для этого проводятся огневые ресурсные испытания эмиттера при плотности тока  $70 \text{ A/cm}^2$  (рис. 4).

Временная диаграмма напряжения разряда регистрируемая в течение около 7000 часов не выявила тенденций в деградации эмиттера. Испытания продолжаются.

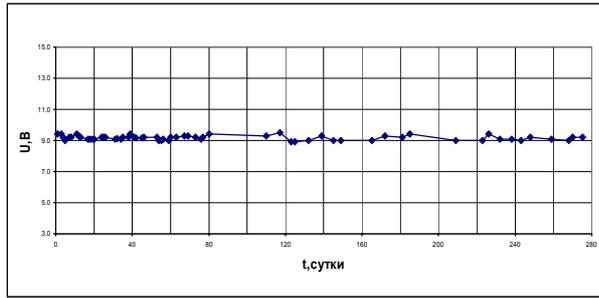


Рис. 4. Огневые ресурсные испытания эмиттера

Результаты испытаний катода на 2А. На основе полученных результатов при испытаниях эмиттера на основе скандата бария был спроектирован и изготовлен малогабаритный полый катод с безнакальным запуском и диаметром корпуса 8,5мм (рис. 5).



Рис. 5. Малогабаритный полый катод с безнакальным запуском и диаметром корпуса 8,5мм

Вольтрасходная (разрядный ток 2.0 А) и вольтамперная (расход ксенона 0.15 мг/с) характеристики представлены на рис. 6, 7, соответственно.

### Заключение

В работе показана возможность проектирования малогабаритного, газового, полого катода, способом использования безнакальной схемы и материала эмиттера, способного длительно работать при плотности тока  $70\text{А/см}^2$ . Расход эмиссионной добавки оценен с помощью спектрального метода и не превысил двукратной величины уноса Ва при работе эмиттера при низких плотностях тока. Ресурс эмиттера проверен прямыми испытаниями в условиях непроточного газового разряда и составляет как минимум 7000 часов.

Испытания модели малогабаритного катода спроектированного на основе излагаемых выше принципах показал удовлетворительные энергетические и расходные характеристики при токе 2А.

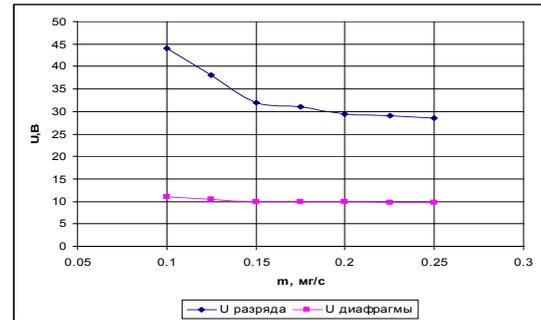


Рис. 6. Вольтрасходная характеристика

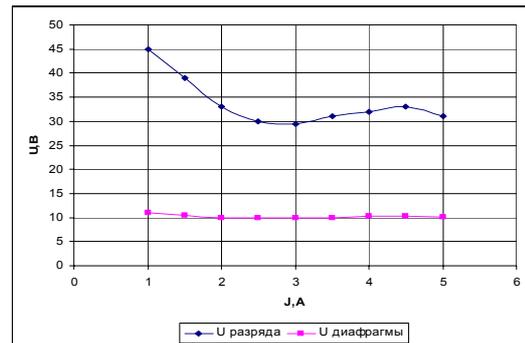


Рис. 7. Вольтамперная характеристика

### Литература

1. Patterson M.J., Oleson S.R. Low-Power Ion Propulsion for Small Spacraft, Paper No 97-3060, 33 // AIAA Joint Propulsion Conference, July 1997, Seattle, WA.
2. Кошелев М.М. Ресурсні випробування емітерів слабкострумових катодів // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2007. – № 7(43). – С. 87-90.
3. Koshelev N.N., Loyan A.V. Investigation of Hollow Cathode for Low Power Hall Effect Thruster, IEPC-2007-103, 30d IEPC, Florence, Italy, September 17-20, 2007.
4. Кошелев М.М., Кісліцин О.П., Подгорний В.О. Спектроскопічні дослідження інтенсивності ерозії емітера у плазмі слабкострумового, порожнистого катода // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2007. – № 10(46). – С. 126-128.

Поступила в редакцию 15.05.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.И. Оранский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.