

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ ДИАФРАГМЫ НА ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ КАТОДА В ДИАПАЗОНЕ ТОКОВ ОТ 3 ДО 5 А

*М.Т. Алиева, аспирант,*

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина*

В настоящее время очень большое внимание уделяется разработке и использованию ЭРДУ как для коррекции и ориентации орбиты, так и для маршевых задач. Однако при создании ЭРДУ на газах в настоящее время остается ряд нерешенных проблем. Одной из таких трудно решаемых на сегодня задач является создание надежных, долговечных и экономичных катодных узлов.

Катод, как источник электронов, играет определяющую роль в организации рабочих процессов получения и ускорения плазмы, ионов и нейтрализации практически во всех современных типах ЭРД. Именно поэтому они в большей степени определяют стабильность параметров и диапазон устойчивой работы ЭРД, ресурс и надежность, динамические характеристики (время и число запусков) и заметно влияют на энергетическую и газовую эффективность и эксплуатационные свойства двигателей в целом.

Наиболее остро в настоящее время стоит проблема по созданию катодов для маломощных ЭРД нового поколения в диапазоне токов разряда 0,5...5 А, поскольку при решении данной задачи приходится увязывать противоречивые требования по обеспечению высокой энергетической экономичности, длительных (до  $10^4$  часов) ресурсов работы, уменьшению габаритов и массы.

Среди разрабатываемых типов катодов одним из наиболее перспективных является безнакальный полый катод (БНК). В настоящее время наиболее перспективной с точки зрения энергетических затрат и ресурса является схема катода, совмещающая следующие свойства:

- подача плазмообразующего газа непосредственно через рабочую полость с образованием положительного (по отношению к эмиссионной поверхности)

столба плазмы [1], в результате чего снижается разрядное напряжение, и улучшаются эмиссионные свойства поверхности благодаря эффекту Шоттки в процессе термоэлектронной эмиссии [2];

- наличие диафрагмы [3], при которой требуемое давление плазмообразующего газа достигается при меньшем его расходе;

- использование активирующего вещества для улучшения эмиссионных свойств [4] в результате снижения работы выхода электронов;

Основными параметрами, характеризующими эффективность работы БНК рассматриваемого типа, являются [5]:

1. Ток разряда -  $I_p$ , А.
2. Ресурс -  $\tau$ , ч.
3. Удельные энергетические затраты -

$$C_{\text{ЭН}} = \frac{W}{I_p} = \frac{I_p U_{\text{оп}}}{I_p} = U_{\text{оп}}, \text{ Вт/А.}$$

4. Газовая эффективность -

$$C_{\text{Г}} = \frac{I_p}{m(\text{экв А})} = \frac{I_p m_{\text{р.т.}}}{em} , \text{ эл./атом.}$$

5. Рабочая температура катода -  $T_k$ , К.

6. Критерий добротности -  $K_3 = \frac{\Delta G_3}{I_p \tau}$ , кг/Кл.

7. Время запуска -  $\tau_{\text{зап}}$ , с.

8. Стабильность параметров.

9. Эксплуатационные свойства, габаритные размеры и вес, технологичность, стоимость и др.

### Постановка задачи

Основная задача проводимых исследований БНК – улучшение основных электрических, газодинамических параметров и ресурсных характеристик. В результате экспериментальной отработки БНК возникает ряд

трудностей связанных с оптимизацией основных геометрических размеров катода с учетом различных режимов его работы. Одним из узлов влияющих на ресурс катода, а, следовательно, и ЭРД является диафрагменный узел. Известно, что в процессе работы катода одним из наиболее подверженных эрозии узлов является диафрагма. Поэтому была сделана попытка повышения ресурса методом увеличения ее толщины. Что повлекло за собой необходимость оптимизации параметров диафрагменного узла. Данная работа посвящалась решению этой задачи для диафрагменного узла БНК, работающего в диапазоне токов от 3 до 5 А и расходах от 0,1 до 0,4 мг/сек. Был проведен ряд экспериментов по определению наиболее благоприятных размеров диафрагмы. Для проведения работы была спроектирована экспериментальная модель катода максимально соответствующая реальному изделию (рис. 1). Для этого использовались металлокерамический узел (МКУ), блоки экранов, эмиттер идентичные реальным моделям. Для проведения необходимых исследований был изготовлен ряд диафрагм толщиной 2 мм с отверстиями  $\varnothing 0,6; 0,8; 0,9; 1$ .



Рис. 1. Модель катода

## Оборудование

Эксперимент проводился на высоковакуумном стенде включающим в себя камеру объемом  $2,5 \text{ м}^3$ , форвакуумный насос типа ВН-6, два высоковакуумных насоса ТМН и ВА-8. Предельный вакуум в камере при выключенном катоде составлял  $3 \cdot 10^{-7}$  мм рт. ст. В процессе эксперимента предусматривалось измерение давления в полости катода, температуры корпуса и напряжение между катодом и анодом. Показания разрядного тока и напряжения измерялись с помощью приборов типа М253, показания с термопары типа ТХА снимались на цифровой вольтметр В7-28. Давление в полости измерялось индивидуально тарированными датчиками давления ИКД27ДФ0,25 №1210160 и ИКД 6ДТф-0,016 №0904089. Схема СХПРТ представлена на рис. 2.

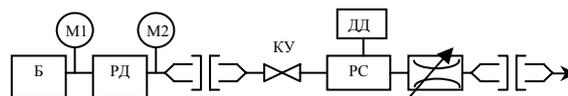


Рис. 2. Схема СХПРТ

Измерение величины массового расхода вычислялось по формуле:

$$m = \frac{V}{RT} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta \tau},$$

где  $\frac{V}{R} = \text{const}$ ,  $T \approx \text{const} = 293\text{K}$ ,  $\Delta P = \text{fix}$

## Результаты эксперимента

Для увеличения достоверности получаемой информации измерения ВАХ проводились несколько раз. Очевидно некоторое расхождение данных для различных запусков. Это можно объяснить как изменением состояния эмиссионной поверхности, так и погрешностью измерения расхода через катод. Поэтому для количественного сравнения ВАХ при различных расходах строилась среднестатистическая характеристика для каждого расхода (рис. 3-6).

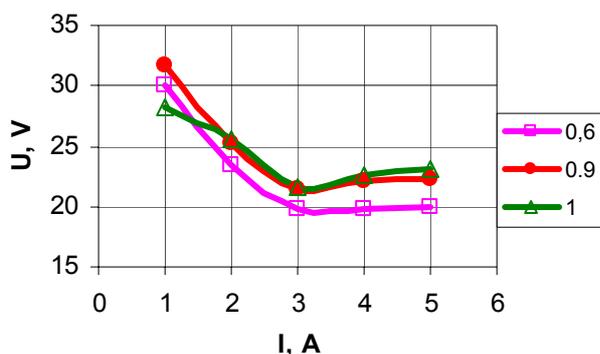


Рис. 3. ВАХ для  $\dot{m}=0,4$  мг/сек

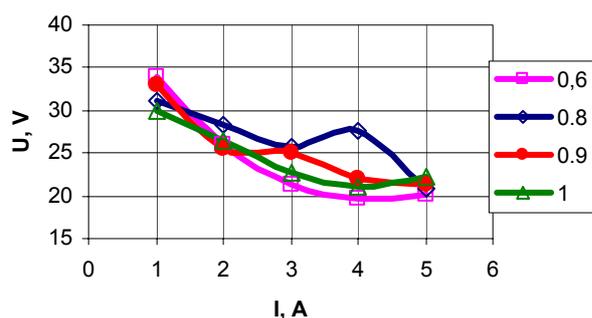


Рис.4. ВАХ для  $\dot{m}=0,3$  мг/сек

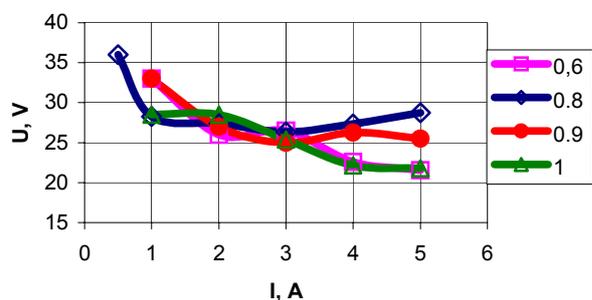


Рис. 5. ВАХ для  $\dot{m}=0,2$  мг/сек

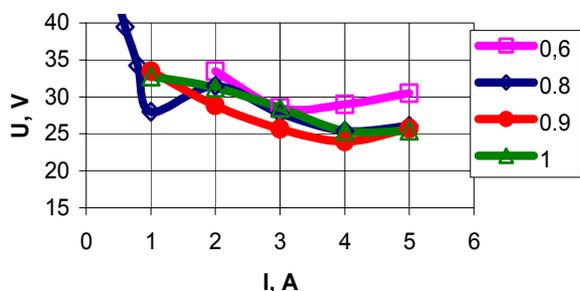


Рис. 6. ВАХ для  $\dot{m}=0,1$  мг/сек

Немаловажным фактором, влияющим на параметры работы катода, является давление в полости (рис. 7).

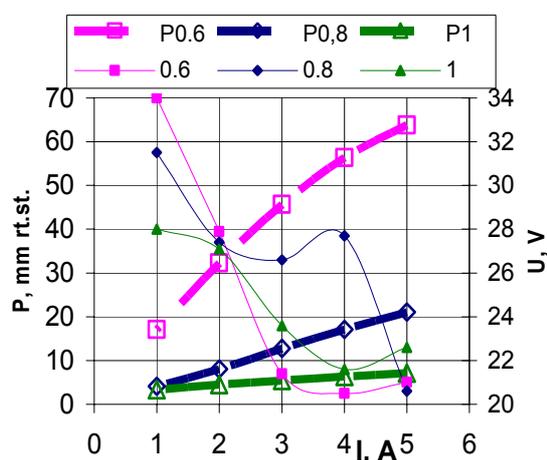


Рис. 7. Давление в полости катода при  $\dot{m}=0,3$  мг/сек

### Выводы

Анализ представленной информации показывает, что в области токов от 3 до 5 А при  $\dot{m}=0,2; 0,3; 0,4$  мг/сек оптимальной диафрагмой можно считать диафрагму с отверстием 0,6 мм.

Очевидно, что работа не является законченной с точки зрения объяснения физических процессов и требует своего дальнейшего продолжения.

### Литература

1. Trindade A.R. Etude de mecanismes de fonctionnement des cathodes creuses eu regime d'arc // These d'etat. Orsay, 1970.- P. 70.
2. Спроул Р. Современная физика.- М.: Наука, 1974.- 591 с.
3. Приданцев В.Ф. Исследование характеристик разряда с полым катодом // Проблемы высокотемпературной техники: Сб. науч. тр.– Днепропетровск: ДГУ, 1979.- С. 111 - 118.
4. Термоэлектронные катоды / ГА. Кудинцева, А.И. Мельникова, А.И. Морозов, Б.П. Никонов.- М.-Л.: Энергия, 1966.- 368 с.
5. Архипов Б.А. Исследование и разработка катодов нового поколения для стационарных плазменных двигателей (СПД): Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.07.10 / МАИ.- М., 1998.- 45 с.

Поступила в редакцию 03.06.03

**Рецензенты:** д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков; д-р физ.-мат. наук, проф. В.И. Терешин, ИПФ ННЦ ХФТИ, г. Харьков.