

УДК 681.518.2

О.В. Шульга, О.В. Шефер

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СТАРТУ ПЛАЗМОВОГО ПАЛЬНИКА ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО КЕРУВАННЯ ВИХОДОМ У РОБОЧИЙ РЕЖИМ ПРИСТРОЇВ СУПУТНИКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

У статті розглянуто варіанти вирішення проблеми надійності старту плазмових пристроїв, шляхом конструктивних рішень розрядного пальника. Проведено комплекс теоретико-експериментальних робіт по визначенню залежності напруги запалювання і напруги формування розряду у плазмових пальниках від різних факторів. У результаті проведених досліджень запропоновано оптимальне газове наповнення кварцового плазмового пальника для мінімізації напруги запалювання розряду, що дозволить підвищити надійність та якість функціонування пристроїв супутникового радіозв'язку космічних апаратів.

**Ключові слова:** космічний апарат, плазмовий пальник, напруга запалювання, пристрої супутникового радіозв'язку, розрядний пальник, електрод, парціальний тиск.

### Вступ

На сьогодні Україна – одна з найпотужніших держав у галузі космосу та авіації. Маючи величезну спадщину талановитих учених і конструкторів, наша країна внесла значний внесок у розвиток і становлення систем супутникового радіозв'язку із космічними апаратами. Для забезпечення необхідних характеристик у системах зв'язку використовуються прилади радіонавігації, що базуються на застосуванні плазмових пальників. Цілеспрямоване створення в плазмі збурень і дослідження динаміки їх релаксації дозволяють визначити локальні характеристики плазми, котрі необхідні для забезпечення надійності старту плазмового пальника, що з метою керування виходом у робочий режим пристроїв супутникового радіозв'язку із КА.

**Метою роботи** є проведення досліджень для оптимізації газового наповнення кварцового плазмового пальника, шляхом мінімізації напруги запалювання розряду.

### Основна частина

Розглянемо варіанти підвищення надійності старту (запалювання) розряду у плазмових пальниках із метою подальшого керування виходом у робочий режим і досягнення експлуатаційних характеристик приладів на їх основі в системах космічного радіозв'язку.

Далі розглядаються варіанти вирішення проблеми запалювання плазмових пристроїв шляхом конструктивних рішень розрядного пальника.

Завдяки комплексу теоретико-експериментальних робіт по визначенню залежності напруги запалювання і напруги формування розряду у плазмових пальниках від різних факторів (геометричні розміри пальника, тиск аргону, температура), ми можемо виконувати практичні розрахунки плазмових пальників, задавшись такими параметрами, як  $U_f$  або  $U_3$ .

Маючи попередньо розраховані значення геометричних розмірів пальника, що задовольняють необхідні електричні параметри, тепловий режим та ін., можна виконати уточнений розрахунок геометричних розмірів, але вже з урахуванням необхідного значення напруги формування розряду. Це дозволить виключити похибки розрахунків, коли розрахована конструкція плазмового пальника після виготовлення має високу пускову напругу, що призводить до додаткових коректувань конструкції. За основу приймаємо конструкцію пальника з трьома електродами: двома основними і одним допоміжним.

Для порівняння результатів досліджень та можливості їх застосування для розрахунку залежності напруги запалювання розряду, геометричні розміри пальників приймаються однаковими.

Першим етапом досліджень було проведення комплексу робіт по вибору оптимальної конструкції електрода, з точки зору зниження напруги запалювання розряду ( $U_3$ ). Для цього нами були випробувані конструкції електродів з виступаючим керном, щільний і порожнистий.

Проведені випробування пальників із даними конструкціями електродів показали, що оптимальним електродом є порожнистий електрод. У цих пальниках, порожнистий електрод забезпечує зниження напруги запалювання на 30...50 В. Ефект порожнього електроду розглянуто в [1 – 3], де подано повний аналіз теорії роботи порожнистого електрода в період формування основного розряду і переходу його в дугову форму. Спіраль електрода двошарова, виготовлена з вольфрамового дроту, марки ВТ-70 0,5 мм. Порожнина утворюється втопленням всередину спіралі керном  $d = 0,9$  мм на відстань від торця спіралі на 3 ... 4 мм. Керн виготовлений із вольфраму марки ВТ-15.

В якості емітера застосовується окис ітрію, що наноситься на електрод в ультразвуковій ванні з подальшим відпалом в сухому водні при  $t = 1600$  °С і у вакуумі при  $t = 1750$ -1780 С.

Експериментальні дослідження залежностей напруги запалювання плазмового розряду від тиску газу, що наповнює пальник, температури навколишнього середовища проводилися на кварцових пальниках, котрі виготовлялися згідно з вимогами технології виробництва вакуумних приладів, з тією або іншою особливістю конструкції, вплив якої на запалювання розряду повинен досліджуватись.

Для дослідження залежності напруги запалювання розряду від тиску пускового газу (аргону) і температури навколишнього середовища, були виготовлені кварцові пальники довжиною  $L_{\text{п}} = 25; 38; 53; 60; 65; 90$  мм і діаметром  $D_{\text{п}} = 20$  мм [1, 3]. Для кожного розміру виготовлялися по кілька пальників для набору статистичних даних.

Дослідження залежності  $U_z = f(P)$  проводилась наступним чином [4,3]. Відтреновані пальники під вакуумом наповнювалися аргоном у межах зміни тиску 665...2660 Па, потім проводилися виміри значень за вищевказаною методикою, тобто триразове вимірювання одного типорозміру пальника. Отримані дані вимірювань занесені до табл. 1, 2.

Для визначення залежності  $U_z = f(t)$  пальники з (різними діаметрами і довжинами) поміщалися в камеру, в якій регулювалась і контролювалась температура навколишнього середовища за допомогою малоінерційної швидкодіючої термопари. У камері встановлювалась необхідна для дослідження температура і після підключення системи живлення і контрольно-вимірювальної апаратури виконуються вимірювання значень напруги запалювання від температури навколишнього середовища. При цьому:  $D_{\text{п}}, L_{\text{п}}$  і  $P$  – величини постійні.

А) Дослідження залежності напруги запалювання розряду від тиску аргону в пальнику.

Метою проведених досліджень є оптимізація газового наповнення кварцового плазмового пальника для зниження напруги запалювання розряду. Як відмічено вище, для випробувань були виготовлені кварцові пальники з довжинами 25, 38, 53, 60, 65, 90 мм і діаметрами 11, 14, 15, 18, 20, 22, 24, 26 і 29 мм по кілька штук кожного розміру. Пальники виготовлялися при суворому дотриманні технологічних вимог, що пред'являються до заготовок і зібраних пальників.

Згідно методики проведення досліджень, ми отримуємо значення напруги запалювання розряду від тиску наповнюючого газу (аргону). За результатами вимірювань будуємо графіки залежності  $U_z = f(P_{\text{АГ}})$  (рис. 1-3). З графіків видно, що значення напруги запалювання залежить від тиску наповнюючого газу, причому мінімум знаходиться в межах 15 ... 25 мм.рт.ст.

Це пояснюється тим, що при малих тисках аргону електрони мають велику довжину вільного пробігу і втрачають кінетичну енергію, необхідну для іонізації; при високих тисках, навпаки, вони мають малу довжину вільного пробігу і не мають достатньої енергії для іонізації. Тому, до розрядного проміжку і в першому і в другому випадку необхід-

но прикладати підвищену різниця потенціалів.

Характер ходу кривих графіків залежності  $U_z = f(P_{\text{АГ}})$  схожий на відомі з фізики криві Пашена [1,4], однак, у нашому випадку є свої фізико-хімічні особливості, що відбуваються в розрядному об'ємі.

Отже, за результатами проведеного експерименту, можливо зробити висновок – оптимальний тиск аргону для надійного запалювання розряду лежить у межах 15...25 мм рт. ст. (20 мм рт. ст. або 2660 Па для даної конструкції пальника).

Б) Дослідження залежності напруги запалювання розряду від температури навколишнього середовища.

Велике значення для плазмових пристроїв має температурний режим, в якому вони будуть експлуатуватися [5]. Якщо при низьких температурах вони запалюються приблизно так само, як і газорозрядні джерела високого тиску, то при підвищених температурах, що має місце поблизу зовнішньої конструкції корпусу КА, процес запалювання, очевидно, матиме свої особливості. Тому доцільно провести експериментальні дослідження залежності напруги запалювання розряду від температури в підвищеній області.

Дослідженню піддавалися кварцові розрядні пальники, виготовлені для всіх видів випробувань. Вимірювання напруги запалювання пальника проводилося згідно з методикою вимірювань в інтервалі 20 ... 70 °С через 10 с. Вимірювання показали, що з підвищенням температури, напруга запалювання розряду зростає. Це явище підтверджує положення про те, що при підвищенні температури парціальний тиск газу в об'ємі пальника збільшується, приводячи тим самим до появи елементів і сполук, що сприяють утворенню негативних іонів, що підвищує  $U_z$ .

Отже, виходячи із результатів проведених досліджень, можливо зробити висновок, що плазмові пальники даної конструкції будуть надійно працювати у температурному діапазоні -30...+40 °С.

Дані вимірювань занесені до табл. 1, 2.

Таблиця 1

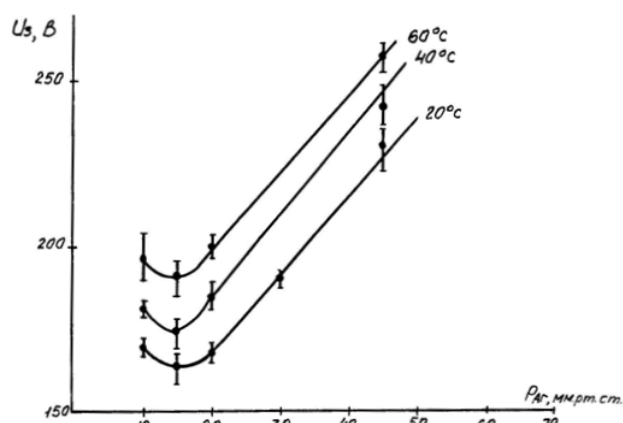
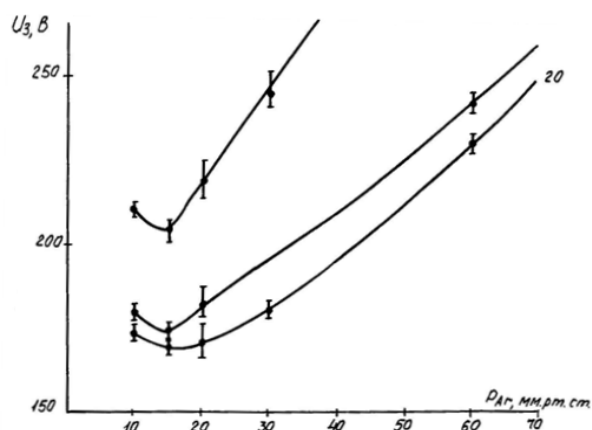
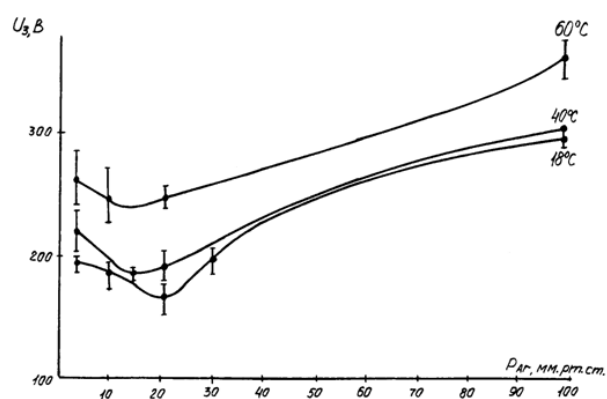
Значення напруг запалювання плазмових пальників залежно від тиску аргону при різних значеннях t°C, Dг = 17,5 мм

t°C	P, Па									
	665	1330	1995	2660	3325	3990	6650	7980	10640	13300
20	173±5	168±3	163±4	156±5	152±8	146±2	153±2	170±3	184±9	196±8
30	182±2	188±2	174±4	176±2	183±9	180±3	203±12	225±5	228±8	233±2
40	210±2	208±2	209±6	207±2	216±5	234±4	263±12	254±8	283±26	355±7
50	260±8	250±9	248±3	267±5	274±4	291±3	320	-	-	-
60	243±9	256±10	268±9	291±7	321±2	-	-	-	-	-
70	243±9	250±1	268±9	321±10	-	-	-	-	-	-

Таблиця 2

Значення напруг запалювання пальників залежно від тиску аргону при різних значеннях t°C, Dг = 20 мм

t°C	P, Па									
	665	1330	1995	2660	3325	3990	6650	7980	10640	13300
20	169±8	162±8	156±4	151±3	153±2	154±9	267±2	170±6	192±6	199±20
30	168±2	154±2	148±2	146±3	156±4	157±2	175±5	175±4	173±5	175±4
40	168±5	163±4	166±4	166±2	163±3	157±2	165±2	175±2	186±9	214±3
50	181±5	179±4	196±4	203±9	194±2	196±4	197±12	200±8	243±5	249±28
60	205±4	193±4	188±9	191±2	201±2	195±11	202±9	217±12	227±2	245±4
70	196±4	206±4	205±5	210±7	218±3	218±3	266±18	203±3	329±8	-

Рис. 1. Графік залежності  $U_3 = f(P_{AG})$  при  $L_{Г} = 25$  ммРис. 2. Графік залежності  $U_3 = f(P_{AG})$  при  $L_{Г} = 38$  ммРис. 3. Графік залежності  $U_3 = f(P_{AG})$  при  $L_{Г} = 53$  мм

## Висновки

Встановлено, що з підвищенням температури, напруга запалювання розряду зростає. Це явище підтверджує положення про те, що при підвищенні температури парціальний тиск газу в об'ємі пальника збільшується, приводячи тим самим до появи елементів і сполук, що сприяють утворенню негативних іонів, що підвищує напругу запалювання. Виходячи із результатів проведених досліджень, мож-

ливо зробити висновок, що плазмові пальники конструкції, котра розглядалась, будуть надійно працювати у температурному діапазоні  $-30...+40$  °С.

## Список літератури

1. Атаев А.Е. Зажигание ртутных газоразрядных источников света высокого давления массового применения / А.Е. Атаев // Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук, М., 1985.
2. Электрод металлогалогидной лампы, патент Японии, кл. 93Д03, № 53 – 40833, заявл. 02. 11.73 г., опубл. 30.10.78 г.
3. Электроды для ламп с добавками галогенидов металлов, патент Японии, кл. 93Д03, № 52 -13034, заявл. 20.09.76 г., опубл. 11.04.77 г.
4. Шульга А.В. Управление процессом зажигания металлогалогенных ламп высокого давления /А.В. Шульга, Д.Н. Нелюба, О.И. Данник, Е.В. Котюк // Системы обработки информации. – Х.:ХУПС, 2012. – Вып. 2 (100). – С. 108 – 111.
5. Smirnov B.M. Theory of Gas Discharge / B.M. Smirnov // Plasma Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, Switzerland. – 2015. – P 423.

Надійшла до редколегії 10.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СТАРТА ПЛАЗМЕННОЙ ГОРЕЛКИ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫХОДОМ В РАБОЧИЙ РЕЖИМ УСТРОЙСТВ СПУТНИКОВОЙ РАДИОСВЯЗИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.В. Шульга, А.В. Шефер

В статье рассмотрены варианты решения проблемы надежности старта плазменных устройств, путем конструктивных решений разрядной горелки. Проведен комплекс теоретико-экспериментальных работ по определению зависимости напряжения зажигания и напряжения формирования разряда в плазменных горелках от различных факторов. В результате проведенных исследований предложено оптимальное газовое наполнение кварцевой плазменной горелки для минимизации напряжения зажигания разряда, что позволит повысить надежность и качество функционирования устройств спутниковой радиосвязи космических аппаратов.

**Ключевые слова:** космический аппарат, плазменная горелка, напряжение зажигания, устройства спутниковой радиосвязи, разрядная горелка, электрод, парциальное давление.

## PLASMA TORCH START RELIABILITY IMPROVING FOR FURTHER OPERATING MODE OUTPUTS CONTROL IN SPACECRAFT SATELLITE RADIO COMMUNICATION DEVICES

O.V. Shulga, O.V. Shefer

In article the options for the problem of start plasma's devices reliability is considered, by the way of discharge burner's constructive solutions. A set of theoretical and experimental studies to determine the dependence on ignition voltage and discharge formation voltage in plasmas' torches on various factors is performed. As a result of this research, an optimal gas filling for the quartz plasma torch is proposed to minimize the discharge ignition voltage that can cause higher reliability and SC's satellite radio communication devices quality of operation.

**Keywords:** spacecraft, plasma's torch, ignition voltage, satellite radio communication devices, discharge burner, electrode, partial pressure/