

## ПРОБЛЕМА ФОРМУВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ ПЛАЗМОВОГО СЕРЕДОВИЩА ІМПУЛЬСНИХ ЗАСОБІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

У статті розглянуто підхід до формування необхідної геометрії штучного низькотемпературного плазмового середовища імпульсних засобів радіотехніки та телекомунікацій. Встановлено залежність енергетичних параметрів від тиску газу та кількості електродів у тліючому розряді, як інертних, так і молекулярних газів. Для будь-якого варіанта конструкції плазмового пристрою, матеріалу катода та роду газу, визначено граничний тиск формування низькотемпературного плазмового середовища засобів телекомунікацій.

**Ключові слова:** засоби телекомунікацій, розрядний проміжок, інтенсивність випромінювання, граничний тиск, геометрія плазмового середовища

**Shefer O. V. The problem of plasma's environment geometry of pulsed media telecommunications formation.** In article the approach of the required geometry of artificial low-temperature plasma environment of impulse radio and telecommunications formation is considered. Parameters of current and tension depending on pressure of gas and quantity of electrodes in smoldering category, both in inert, and in molecular gases are set. For any option of plasma device design, material of the cathode and a sort of gas, the extreme pressure of the low-temperature plasma environment of means of telecommunications formation is determined. It is defined that with increasing degree of discharge conditions complexity, the diameter of plasma environment is reduced. It is connected with the worsened conditions of ionization and excitement of neutral gas particles, due to the proximity of the anode to the cathode.

The using of plasma environment around the SC slot-hole antenna with a certain geometry is offered. The generated artificial plasma, interacting with an external plasma cover, creates a steady window of telemetry that could provide a reliable communication with SC during the passage of atmosphere dense layers.

**Keywords:** the ways of telecommunication, the discharge gap, the intensity of radiation pressure, geometry of the plasma environment

**Вступ.** Розвиток сучасних засобів телекомунікацій та навігації, котрі працюють в імпульсному режимі на борту космічного апарату (КА), вимагає розробки та впровадження джерел випромінювання низькотемпературної плазми зі стабільними експлуатаційними параметрами.

Надзвичайна увага приділяється надійності роботи радіотехнічних пристроїв у режимі виведення КА на орбіту, що дозволяє використовувати плазмове середовище зі стабільними параметрами в різних приладах телекомунікацій і системах навігації [1, 2].

Метою дослідження є формування необхідної геометрії плазмового середовища та енергетичних параметрів, у залежності від тиску газу, а також кількості електродів у тліючому розряді засобів телекомунікацій та навігації.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести дослідження в інертних та молекулярних газах, при зміні кількості електродів та наближеному до експлуатаційного інтервалі зміни тиску.

**Залежність режиму розряду від тиску газу** Незважаючи на те, що дослідження розряду з плазмою загального випромінювання проводилось у невеликому інтервалі тиску газу [3], котрим наповнена розрядна камера, зміни тиску були суттєвими та помітними.

Зміна тиску вплинула на діаметр плазми загального випромінювання та інтенсивність. Напруга горіння  $U$  та розрядний струм також значно змінювались зі зміною тиску газу. На рис.1 представлена залежність напруги горіння розряду  $U$  від тиску  $U = \varphi(p)$  за умови постійного розрядного струму  $I = 5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$  в атмосфері аргону.

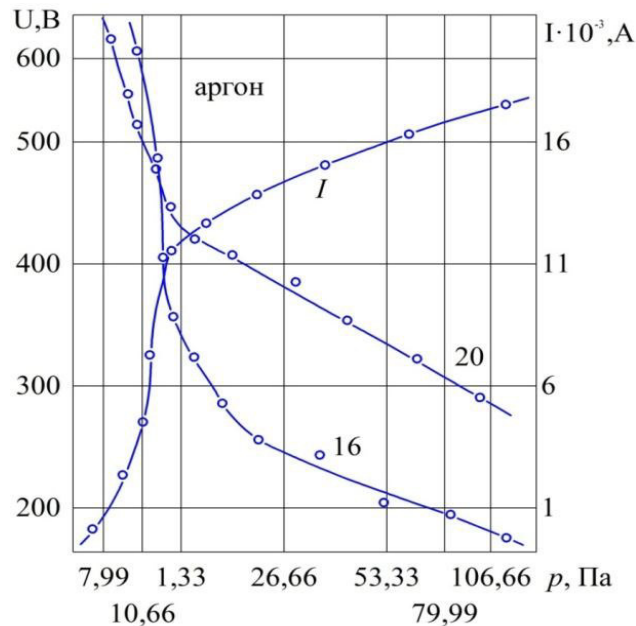


Рис. 1. Залежність напруги горіння  $U$  та струму  $I$  в локалізованому розряді, від тиску аргону, коли  $U = \varphi(p)$ , якщо  $I = const$ ;  $I = f(p)$ , якщо  $U = const$ , а також  $16 - U = \varphi(p)$  при 16 електродах та  $20 - U = \varphi(p)$  при 20 електродах

У відповідності з рис. 1, видно, що зі зростанням тиску напруга різко падає. Особливо суттєве зниження  $U$  відбувається в діапазоні 2,67 – 26,7 Па, після чого напруга на розряді падає слабше. Представлена залежність напруги горіння від тиску, за того ж струму в розрядному проміжку, із великим числом електродів ( $N = 20$ ) дозволяє встановити, що зі збільшенням числа електродів  $N$  залежність  $U = \varphi(p)$  переходить в область більших напруг. Такий перехід обумовлений зростанням ускладнених умов у розрядному проміжку [3].

На рис.1 представлена, також, залежність  $I = f(p)$ , коли напруга не змінна ( $U = 600 \text{ В}$ ). Видно, що зі зростанням тиску аргону струм різко зростає там, де напруга різко падає. При подальшому зростанні тиску зростання струму відбувається меншим темпом.

Безпосередньо піддаючи плазму загального випромінювання зондовим дослідження [4], встановлено, що коли  $p = 7,99 \text{ Па}$  стовп плазми загального випромінювання має діаметр не більше 10 мм. Зі зростанням тиску зростає інтенсивність випромінювання і діаметр стовпа збільшується до 60 % діаметра розрядного проміжку.

В молекулярних газах дана залежність протікає аналогічно. Різниця є лиш у тому, що залежність  $U = \varphi(p)$  спостерігається за більш високих напруг та більш високому інтервалі тиску [5].

Наочно та більш конкретно залежність  $U = \varphi(p)$  представлена на рис. 2, де показана залежність напруги горіння від тиску аргону та неону.

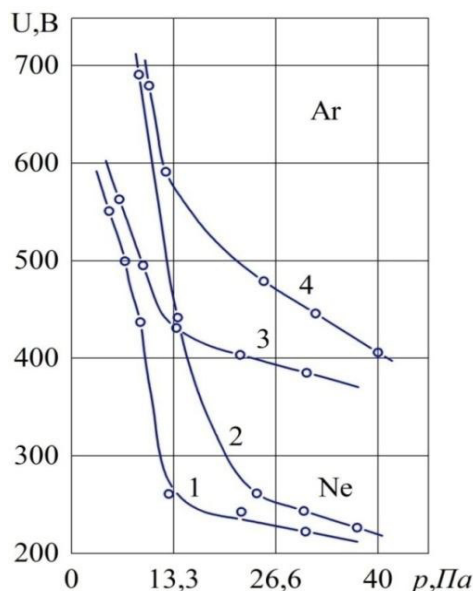


Рис. 2. Залежність напруги горіння, в локалізованому розряді від тиску  $U = \varphi(p)$  та числа  $N$  стрижневих електродів в аргоні та неоні: 1 – в Ar, коли  $N = 16$ ; 2 – у Ne, коли  $N = 16$ ; 3 – в Ar коли  $N = 20$ ; 4 – у Ne, коли  $N = 20$

Характерно, що в аргоні при збільшенні тиску до 13,33 Па спостерігається різке падіння напруги, приблизно від 700 до 360 В, після чого падіння напруги відбувається значно повільніше. Те ж саме спостерігається в неоні, тільки тут критичною точкою є тиск 18,66 Па.

На рис. 2 представлена, також, залежність напруги горіння від числа електродів  $N$  у локалізованому пристрої (криві 1 та 3 в аргоні, 2 і 4 у неоні). Зі збільшенням числа електродів із 16 до 20, напруга горіння спочатку зростає приблизно на 200 В.

Отже, на режим локалізованого розряду суттєво впливає, як тиск робочого газу, так і число електродів розрядного проміжку. Такого ж впливу можна досягнути, коли змінювати не число електродів, а діаметр розрядного проміжку. Зі зменшенням діаметра розрядного проміжку досягається той же ефект, що зі збільшенням числа стрижневих електродів.

Під час збільшення ступеня ускладненості умов у локалізованому розряді, діаметр плазми, як свідчить експеримент, зменшується. Це обумовлено тим, що умови іонізації та збудження нейтральних частинок газу погіршуються, коли наближати анод до катода.

Для будь-якого варіанта конструкції пристрою (радіуса  $R$  та кількості електродів  $N$ ), матеріалу катода та роду газу, тиск газу буде визначатися виразом

$$p = \frac{Nd_0p_0}{8\pi R}. \quad (1)$$

Зазначимо, що тиск, котрий визначає рівняння (1) не є граничним, за якого існує плазма загального випромінювання. В цьому рівнянні  $d_0p_0$  – товщина темного кружкового простору нормального тліючого розряду, котра є частиною міжелектродної відстані  $l_0p_0$ . Експериментальні дослідження однозначно свідчать, що утворення плазми загального випромінювання відбувається також тоді, коли ступінь ускладнення складає лише  $k = 1,1$ , тобто відношення  $\frac{l_0p_0}{lp} = 1,1$ .

Як результат, граничний тиск можна визначити так:

$$p = \frac{Nl_0p_0}{1,1\pi D} \quad (2)$$

де  $l_0p_0 = d_0p_0 + Lp_0$  ( $L$  – протяжність від'ємного випромінювання).

У залежності від діаметра розрядного пристрою  $D$ , числа стрижневих електродів  $N$  та комбінації роду газу, а також матеріалу катода  $l_0 p_0$ , можна визначити, за якого найбільшого тиску робочого газу  $p$  може існувати в локалізованому розряді плазма загального випромінювання. З метою уточнення формули (2) була експериментально досліджена серія локалізованих пристроїв із однаковим діаметром  $D$ , але з різним числом електродів  $N$ ; інша серія з одним і тим же числом електродів  $N$ , але з різними діаметрами. В розрядних пристроях із однаковим діаметром  $D = 4,6 - 10^{-2}$  м, наповнених неонам, у залежності від числа стрижневих електродів із заліза, була отримана локалізована плазма за граничних тисків неону  $p_{\text{гран}}$ , котрі представлені в табл. 1.

Таблиця 1

## Локалізована плазма залежна від числа електродів та граничних тисків

Діаметр пристрою $D \cdot 10^{-2}$ , м	Число електродів $N$	Граничний тиск $p_{\text{гран}}$ , Па	
		за (2)	експериментальний
4,6	12	177,32	187,98
4,6	16	245,31	257,31
4,6	20	306,64	325,31
4,6	24	369,3	379,97

Залежність значення граничного тиску неону  $p_{\text{гран}}$ , коли ще створюється плазма загального випромінювання в локалізованому розряді, від діаметра розрядного пристрою  $D$  при постійному числі стрижневих електродів  $N = 16$  представлена в табл. 2.

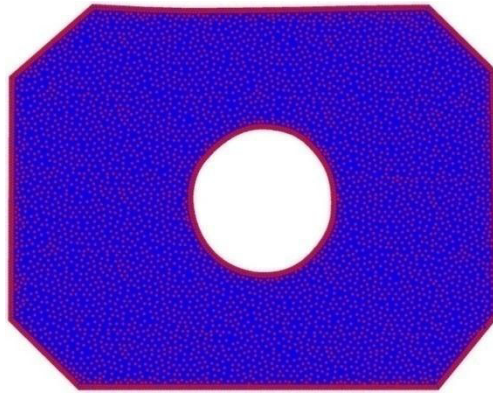
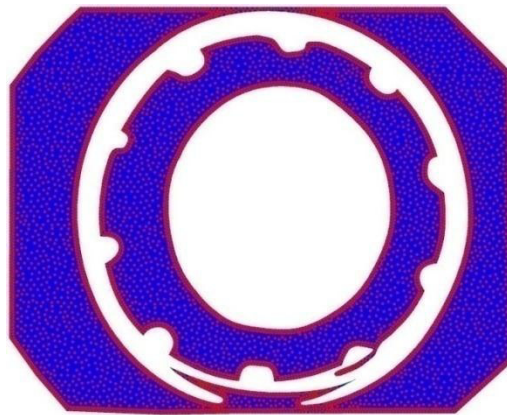
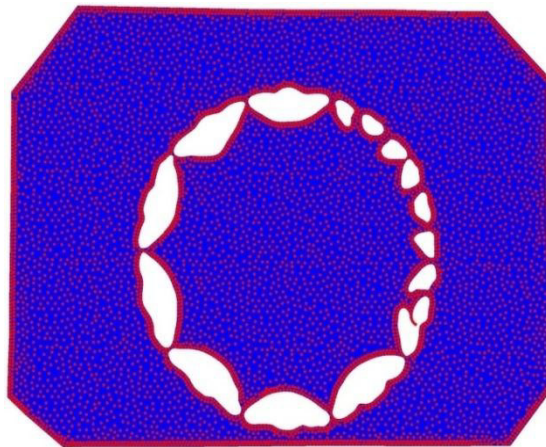
За даними табл. 1 та 2 видно, що експериментальний граничний тиск робочого газу  $p_{\text{гран}}$  у пристрої відрізняється від розрахункового не більше ніж, на 10 %.

Таблиця 2

## Залежність граничного тиску від діаметра розрядного пристрою при постійному числі електродів

Діаметр пристрою $D \cdot 10^{-2}$ , м	Число електродів $N$	Граничний тиск $p_{\text{гран}}$ , Па	
		за (2)	експериментальний
7,6	16	154,65	161,32
4,6	16	245,31	258,64
3,2	16	353,3	375,97
2,6	16	434,63	473,29

За найбільшого числа електродів  $N = 24$  та найменшого діаметру  $D = 2,6 \cdot 10^{-2}$  м, із усіх пристроїв, що досліджувались, найбільший граничний тиск неону за виразом (2) становить  $p_{\text{гран}} = 652$  Па. Під час переходу в аномальний режим локалізованого розряду  $p_{\text{гран}}$  має ще більше значення, оскільки протяжність плазми від'ємного випромінювання  $L$  зі зростанням аномальності розряду зростає. Коли тиск робочого газу  $p \leq p_{\text{гран}}$  уся площа випромінювання плазмового стовпа має однорідну яскравість світіння (рис. 3).

Рис. 3. Поперечний переріз плазми у неоні, коли  $p \leq 650,37$  ПаРис. 4. Переріз плазми у неоні за умови, що  $650,37 \leq p \leq 1090,6$  ПаРис. 5. Випромінювання плазмового стовпа, у випадку якщо  $p > 1090,6$  Па

Вольт-амперна характеристика локалізованого розряду з локалізованою плазмою, коли  $p \leq p_{\text{гран}}$  відповідає кривій 1 на рис. 6.

Коли тиск робочого газу  $p \leq p_{\text{гран}} \leq 1093,2$  Па неону, в пристрої із  $D = 4,6 - 10^{-2}$  м та  $N = 16$ , діаметр плазмового стовпа значно збільшується, а яскравість випромінювання зростає до яскравості розряду з порожнистим катодом (рис. 5). У цьому випадку вольт-амперна характеристика локалізованого розряду не суттєво змінює нахил в області великих розрядних струмів, за умови невеликого збільшення напруги горіння (рис. 6, крива 2).

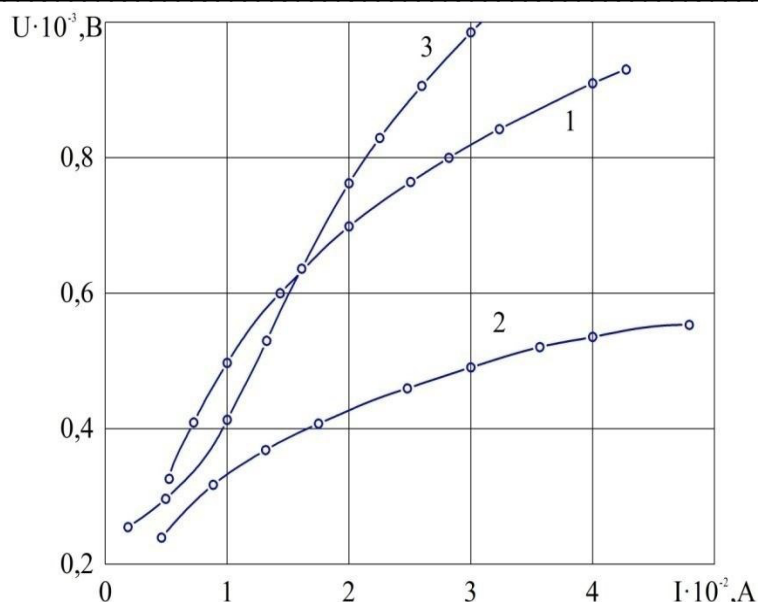


Рис. 6. Вольт-амперні характеристики локалізованого розряду за різних тисків у неоні:  
 1 –  $p_1 = 650,37$  Па; 2 –  $p_2 = 824,6$  Па; 3 –  $p_3 = 1103,9$  Па

Тут плазма наближається до електродної системи, фарадесвий простір майже відсутній і злиття сусідніх від'ємних випромінювань відбувається подібно до ефекту порожнистого катоду. Внаслідок цього суттєво зростає розрядний струм та інтенсивність випромінювання плазми локалізованого розряду.

За умови, що  $p > 1093,2$  Па неону плазма загального світіння розпадається на окремі випромінювання, котрі локалізуються біля кожного стрижневого катоду (рис. 5). Вольт-амперна характеристика вертається майже до первинної позиції, тобто вона знову має крутий підйом в області великих напруг (крива 3 на рис.6.)

Отже, розряд у залежності від тиску газу має три форми:

- розряд із локалізованою плазмою;
- розряд із локалізованою плазмою та ефектом порожнистого катоду.;
- розряд із локалізованим від'ємним випромінюванням.

Для створення завадостійкого середовища пропонується імпульсно генерувати штучну плазму в середині КА. Таке плазмове середовище створюється навколо щільової антени КА. Низькотемпературна імпульсна плазма взаємодіє із зовнішньою плазмовою оболонкою, створюючи «вікно» для радіозв'язку.

У даній роботі пропонується використовувати геометрію плазмового середовища, подібну до рис. 3 та 4, для забезпечення надійного зв'язку КА при його пуску та проходженні щільних шарів атмосфери.

**Висновки** У рамках статті розглянуто підхід до формування необхідної геометрії низькотемпературної плазми імпульсних засобів радіотехніки та телекомунікацій. У результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

Встановлена залежність енергетичних параметрів від тиску газу та кількості електродів у тліючому розряді в інертних та молекулярних газах. Визначено граничний тиск формування плазми засобів телекомунікацій, для будь-якої конструкції, матеріалу катоду та роду газу.

Запропоновано використовувати плазмове середовище навколо щільової антени КА із певною геометрією, що забезпечить надійний зв'язок із КА при проходженні щільних шарів атмосфери.

### Список використаної літератури

1. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы / В. А. Чердынцев. – Минск.: Вышэйшая школа, 1988. – 369 с.
2. Козелков С. В. Шляхи підвищення завадостійкості в радіомережі передачі інформації. / С. В. Козелков, Д. П. Пашков, М. В. Коробчинський // Системи озброєння і військова техніка, 2005. – № 2(2). – С. 32-35.
3. Smirnov B. M. Theory of Gas Discharge / B. M. Smirnov // Plasma Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, Switzerland. – 2015. – 423 p.
4. Райзер Ю. П. Физика газового разряда / Ю. П. Райзер. – М.: Интеллект, 2009. – 736 с.
5. Грановский В. Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток / В. Л. Грановский. – М: Наука, 1971, – 543 с.

### References

1. Cherdyntsev V.A. Radio technical systems / V. A. Cherdyntsev. – Minsk.: High school, 1988. – 369 p.
2. Kozelkov S. V. The ways of noise immune in radio network's information transmission increase / S. V. Kozelkov, D. P. Pashkov, M. V. Korobchinskiy // Weapons systems and military equipment, 2005. – # 2(2). – PP. 32-35.
3. Smirnov B. M. Theory of Gas Discharge / B. M. Smirnov // Plasma Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, Switzerland. – 2015. – 423 p.
4. Rayzer Yu. P. Gas discharge physics / Yu. P. Rayzer. – M.: Intellekt, 2009. – 736 p.
5. Granovskiy V. L. Electric current in gas. Steady current / V. L. Granovskiy. – M: Nauka, 1971, – 543 p.

### Автор статті

**Шефер Олександр Віталійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та електропривода, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Тел.: +38 (050) 183 83 03. E-mail: avs075@ukr.net

### Author of the article

**Shefer Oleksandr Vitaliiiovych** – candidate of sciences (technical), associate professor of automation and electric drive department, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: +380 (50) 183 83 03. E-mail: avs075@ukr.net

Дата надходження  
в редакцію: 15.03.2017 р.

Рецензент:  
доктор технічних наук, професор С. В. Козелков  
Державний університет телекомунікацій, Київ