

04;12

## К вопросу о стабилизации многоостриистой отрицательной короны с помощью балластных сопротивлений

© Б.Б. Балданов

Отдел физических проблем при президиуме Бурятского научного центра СО РАН,  
670047 Улан-Удэ, Россия  
e-mail: baibat@mail.ru

(Поступило в Редакцию 13 ноября 2008 г.)

Приведены результаты экспериментальных исследований вольт-амперных характеристик коронного разряда с многоостриистым катодом в потоке аргона. Установлено, что регулируемые балластные сопротивления на коронирующих остриях многоостриистой отрицательной короны позволяют обеспечить устойчивый режим работы и однородность заполнения разрядного промежутка плазмой.

PACS: 52.80.Hc

Переход импульсно-периодического режима отрицательной короны в режим тлеющего разряда атмосферного давления является объектом интенсивных исследований [1–3]. Повышенный интерес к изучению этого явления в настоящее время обусловлен возможностью использования тлеющего разряда атмосферного давления как нового перспективного источника неравновесной плазмы атмосферного давления [2,3].

Для создания тлеющего разряда атмосферного давления наибольшее распространение получила электродная система с коронирующими остриями и плоским анодом [1,4], которая характеризуется высокой надежностью и виброустойчивостью по сравнению с протяженными проволочными системами. Реализация тлеющего разряда атмосферного давления требует использования специальных мер стабилизации отрицательной короны, что позволяет существенно отодвинуть токовую границу появления искры в электроотрицательном [1,2] и в электроположительном газе [5,6]. При этом в токовой области между известными формами разряда — короной и искрой — возникает новый вид разряда: диффузный тлеющий разряд при атмосферном давлении, создающий стационарную и однородную неравновесную плазму по всему объему межэлектродного промежутка. Данный способ генерации тлеющего разряда атмосферного давления позволяет реализовать в межэлектродном промежутке высокие по сравнению с классической отрицательной короной в геометрии острие–плоскость, плотности тока  $J \sim 10 \text{ mA/cm}^2$  и электрического поля  $E/N \sim 75\text{--}100 \text{ Td}$  ( $N$  — плотность газа) [1]. Уникальные свойства реализованного разряда стимулируют исследования по повышению эффективности работы газоразрядных устройств на основе тлеющего разряда атмосферного давления [7].

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния величины регулируемого индивидуального балластного сопротивления на коронирующих остриях на устойчивость многоостриистой отрицательной короны в потоке аргона.

Для исследования многоостриистой отрицательной короны в потоке аргона использована специальная электродная конструкция с однорядным многоостриистым катодом и плоским анодом (рис. 1). В качестве острий использовались стальные иглы диаметром 2 мм, длиной конической части 4 мм и радиусом вершины острий  $30 \mu\text{m}$ . Отдельно измерялся ток с каждого острия и суммарный ток с коронирующих острий. Исследования проводились в коротких сантиметровых межэлектродных промежутках  $d$  ( $< 30 \text{ mm}$ ). Анод представлял собой стальную пластину площадью  $12 \times 12 \text{ cm}$ . В целях устранения краевых эффектов, связанных с ограничением поперечных размеров короны, размер анода превышал межэлектродное расстояние  $d$  в три раза [4].

Максимальное напряжение регулируемого высоковольтного источника ВС-20-10 составляло 20 кВ. Для стабилизации разряда использовалась методика, предложенная в работе [8], согласно которой каждое острие нагружалось регулируемым большим сопротивлением  $R_b$  ( $> 1 \text{ M}\Omega$ ). Балластные сопротивления  $R_b$  во внешней цепи варьировались до  $85 \text{ M}\Omega$ . Устойчивость разряда относительно перехода отрицательной короны в искровой пробой разрядного промежутка достигается также

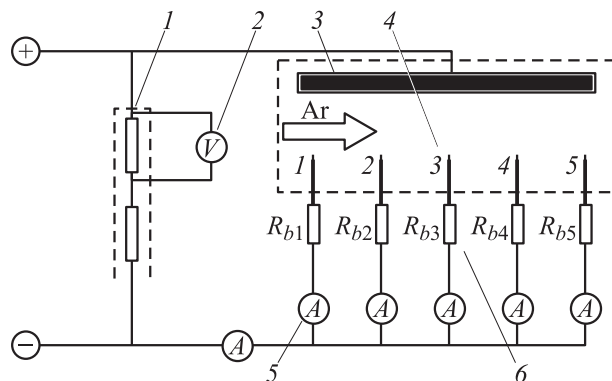
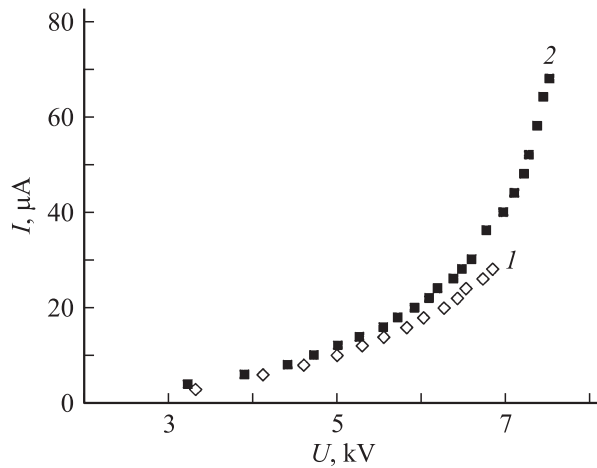


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — высоковольтный делитель; 2 — вольтметр; 3 — анод; 4 — катодный узел; 5 — микроамперметр; 6 — балластные сопротивления.



**Рис. 2.** Вольт-амперная характеристика отрицательной короны: 1 — одно острие; 2 — три острия. Межэлектродное расстояние  $d = 2$  см, расход аргона  $G = 3 \cdot 10^{-5}$  kg/s, шаг расположения острий 6 мм; балластное сопротивление  $R_b = 31$  МΩм.

слабой прокачкой газа через разрядный промежуток. Расход аргона  $G$  измеряется с помощью ротаметра РМ-А-0.16 ГУЗ до  $5 \cdot 10^{-5}$  kg/s.

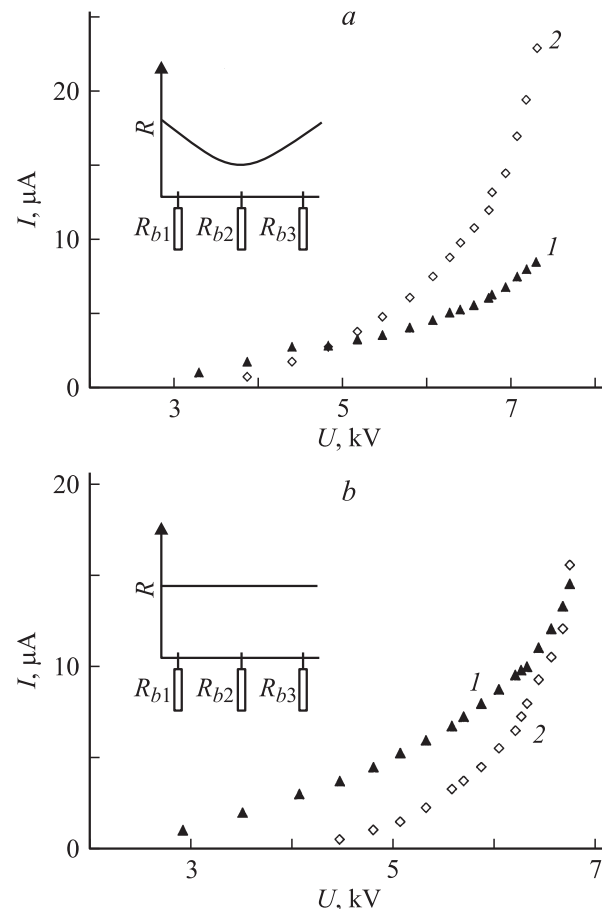
При увеличении напряжения  $U$  в электродной системе с тремя коронирующими остриями до критического напряжения — напряжения зажигания  $U_*$ , зажигаются одновременно крайние острия 2, 4 (рис. 1), при дальнейшем увеличении напряжения  $U$  зажигается центральное острие 3. Такая же картина наблюдается при зажигании отрицательной короны в электродной системе с пятью коронирующими остриями, вначале зажигаются крайние острия, а затем — центральное.

Типичные вольт-амперные характеристики отрицательной короны с одним и тремя коронирующими остриями представлены на рис. 2. Как видно из представленных результатов, наличие коронирующих острий (2 и 4 на рис. 1) с каждой стороны от центрального острия 3 приводит к увеличению токовой области существования коронного разряда по сравнению с отрицательной короной в конфигурации электродов острие–плоскость. Предельные токи соответствуют искровой пробой разрядного промежутка.

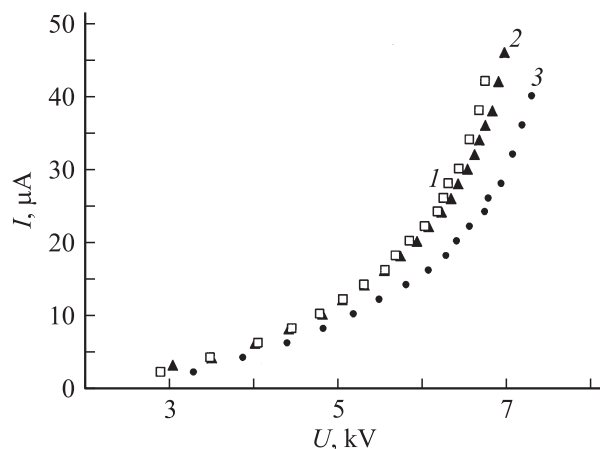
Варьирование балластных сопротивлений  $R_b$  на коронирующих остриях оказывает существенное влияние на параметры разряда. Динамика изменения тока острий с увеличением напряжения  $U$  при различных значениях балластного сопротивления  $R_b$  представлена на рис. 3. Для наглядности представления результатов на рис. 3 представлены токи с острий 2 и 3, так как проведенные исследования показывают, что острия 2 и 4 работают в одинаковом режиме. При равных балластных сопротивлениях  $R_b$  (рис. 3, *b*) на коронирующих остриях центральное острие 3 зажигается позже крайних 2 и 4, при дальнейшем увеличении напряжения  $U$  ток с

центрального острия нарастает быстрее, чем на крайних остриях.

Отметим, что когда ток крайних острий превышает ток центрального острия, многоостриевая отрицательная корона горит в устойчивом режиме, что подтверждается визуальными наблюдениями за характером свечения разряда. Свечение разряда заполняет разрядный промежуток и носит однородный характер. Однако после выравнивания токов с острий разряд переходит в неустойчивый режим, при небольшом превышении тока с центрального острия 3 над крайними остриями происходит искровой пробой разрядного промежутка. Увеличение балластных сопротивлений в 2.7 раза на крайних остриях (рис. 3, *a*) снижает величину тока, при котором выравниваются токи с коронирующих острий. Если при равных балластных сопротивлениях  $R_b$  суммарный ток, при котором выравниваются токи с острий, равен  $I \approx 42$  μA, а ток, приходящийся на каждое острие,  $I_i \approx 12.5$  μA, то при увеличении  $R_b$  на крайних остриях:  $I \approx 8$ ,  $I_i \approx 2.8$  μA.



**Рис. 3.** Зависимость тока коронирующих острий в электродной системе с тремя остриями в зависимости от величины балластного сопротивления  $R_b$ . *a*: 1 —  $R_{b2} = 85$ ; 2 —  $R_{b3} = 26$  МΩм; *b*: 1 —  $R_{b2} = 31$ , 2 —  $R_{b3} = 31$  МΩм. Межэлектродное расстояние  $d = 2$  см; расход аргона  $G = 3 \cdot 10^{-5}$  kg/s.



**Рис. 4.** Вольт-амперная характеристика многоострийной отрицательной короны. Межэлектродное расстояние  $d = 2$  см, расход аргона  $G = 3 \cdot 10^{-5}$  kg/s, балластное сопротивление  $R_b$ : 1 —  $R_{b2} = 31$ ,  $R_{b3} = 31$ ,  $R_{b4} = 31$  МΩm; 2 —  $R_{b2} = 26$ ,  $R_{b3} = 85$ ,  $R_{b4} = 31$  МΩm; 3 —  $R_{b2} = 85$ ,  $R_{b3} = 26$ ,  $R_{b4} = 85$  МΩm.

Как видно из рис. 3, *a* при превышении тока с центрального острия 3 над крайними остриями существенно снижается ток с 2 и 4, визуальная картина свечения показывает, что в свечении разряда начинает преобладать более яркое свечение центрального острия. В противоположном случае, когда балластное сопротивление центрального острия превышает сопротивления на крайних остриях, вольт-амперные характеристики с крайних острий и с центрального практически параллельны друг другу. При этом ток центрального острия значительно меньше тока крайних.

Однако характер протекания тока с коронирующих острий в многоострийной отрицательной короне практически не влияет на форму вольт-амперной характеристики многоострийной отрицательной короны (рис. 4), что согласуется с результатами работы [1], где была проведена серия расчетов вольт-амперных характеристик с различными балластными сопротивлениями  $R$  и установлено, что величина балластного сопротивления не влияет на внешний вид вольт-амперной характеристики. Как показывают результаты экспериментальных исследований, величина регулируемого индивидуального балластного сопротивления на коронирующих остриях существенно сказывается на устойчивости разряда и однородности заполнения разрядного промежутка плазмой.

## Список литературы

- [1] Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Кочетов И.В. и др. // Физика плазмы. 2000. Т. 26. № 2. С. 172–178.
- [2] Акишев Ю.С., Апонин Г.И., Каральник В.Б. и др. // Физика плазмы. 2004. Т. 30. № 9. С. 835–844.
- [3] Афанасьев С.Б., Лавренюк Д.С., Петрушенко И.Н. и др. // ЖТФ. 2008. Т. 78. Вып. 7. С. 30–34.

- [4] Козлов Б.А., Соловьев В.И. // ЖТФ. 2007. Т. 77. Вып. 7. С. 70–76.
- [5] Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Каральник В.Б., Трушкин Н.И. // Физика плазмы. 2001. Т. 27. № 6. С. 550–562.
- [6] Дандарон Г.-Н.Б., Балданов Б.Б. // Физика плазмы. 2007. Т. 33. № 3. С. 273–279.
- [7] Смирнов С.А., Баранов Г.А. // ЖТФ. 2001. Т. 71. Вып. 7. С. 30–38.
- [8] Акишев Ю.С., Дерюгин А.А., Каральник В.Б. и др. // Физика плазмы. 1994. Т. 20. № 6. С. 571–584.