

03;04

## О характере влияния расхода газа на параметры отрицательной короны в потоке аргона

© Г.-Н.Б. Дандарон,<sup>1</sup> Б.Б. Балданов<sup>2</sup><sup>1</sup> Восточно-Сибирский государственный технологический университет, 670013 Улан-Удэ, Россия<sup>2</sup> Отдел физических проблем при президиуме Бурятского научного центра СО РАН, 670047 Улан-Удэ, Россия  
e-mail: baibat@mail.ru

(Поступило в Редакцию 7 июня 2007 г.)

Представлены результаты экспериментального исследования импульсно-периодического режима отрицательной короны в потоке аргона. Установлено, что повышение расхода газа вызывает увеличение длительности и изменение формы импульса тока отрицательной короны.

PACS: 52.80.Hc

Одним из актуальных направлений в изучении коронного разряда является исследование его характеристик в потоке газа, что имеет большое практическое значение в связи с разработкой различных газодинамических устройств (электрофильтры, плазмохимические реакторы и т.д.) [1].

В начальных исследованиях отрицательной короны было обнаружено, что регистрируемый электрический ток — не стационарная величина, а совокупность импульсов, которые следуют с определенной частотой (частотой Тричела) [2]. Импульсно-периодический режим отрицательной короны (импульсы Тричела) в воздухе и различных газовых смесях является известным и достаточно изученным эффектом, но обобщение результатов на случай движущейся газовой среды представляет собой самостоятельную задачу [3]. В работах [4,5] было показано, что отрицательная корона в электроположительных газах (азот, аргон) реализуется при слабой прокачке газа через разрядный промежуток. Начальным этапом развития разряда в электроположительных газах является импульсно-периодический режим, он характеризуется регулярными импульсами тока, аналогичными импульсам Тричела отрицательной короны в воздухе.

Малоисследованным, но универсальным эффектом является влияние потока газа на параметры катодного слоя короны, в том числе и на его устойчивость [6]. Важность этого вопроса связана с ключевой ролью катодного слоя в функционировании разряда, так как установлено, что импульсы Тричела обусловлены нестационарностью тлеющего катодного слоя короны [7].

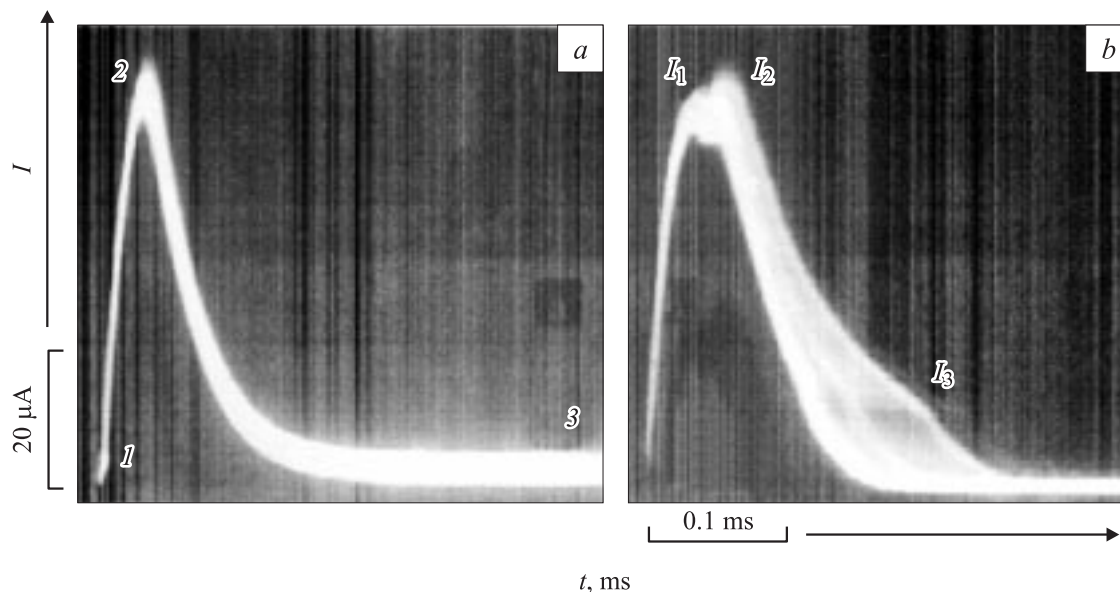
В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния расхода аргона на параметры импульсно-периодического режима отрицательной короны в конфигурации электродов острие—плоскость.

Исследование влияния расхода газа  $G$  на характеристики отрицательной короны проводилось путем обдува коронирующего острия в диапазоне изменения расхода

аргона  $G$  от 0 до  $5 \cdot 10^{-5}$  kg/s при атмосферном давлении. Описание экспериментальной установки и методики исследований представлено в [5]. Осциллографирование разрядного тока показало, что при возникновении разряда регистрируемый ток короны имеет вид регулярных импульсов тока аналогичных импульсам Тричела в воздухе.

На рис. 1 представлены осциллограммы тока  $I$  отрицательной короны в установившемся режиме следования импульсов ( $U = 5.6$  kV) и расходе газа  $G = 1 \cdot 10^{-5}$  kg/s (рис. 1, *a*) и  $4 \cdot 10^{-5}$  kg/s (рис. 1, *b*). В импульсе тока отрицательной короны выделяются два характерных интервала времени, в которых эволюция тока обусловлена различными процессами (рис. 1, *a*) [7]. Первый интервал 1–2 (короткий передний фронт импульса тока длительностью  $\approx 5.5 \mu\text{s}$  и амплитудой тока  $\approx 50 \mu\text{A}$ ) обусловлен током смещения и длится до тех пор, пока волна ионизации не достигнет катода. Второй интервал 2–3 начинается от вершины импульса тока (вершина импульса тока соответствует смене режима эволюции катодного слоя [7]) и длится до начала следующего импульса тока отрицательной короны. Длительность интервала 2–3 определяет период следования импульсов и лежит в миллисекундном диапазоне, что характерно для импульсов тока отрицательной короны в чистых электроположительных газах [4,5]. В эволюцию импульса тока на данной стадии основной вклад дает ток проводимости.

В работе [5] было обнаружено изменение формы импульсов тока отрицательной короны в аргоне при увеличении расхода газа  $G$ . Представляет интерес более подробно рассмотреть динамику структуры заднего фронта импульса тока в зависимости от расхода газа  $G$ . С увеличением расхода газа  $> 2 \cdot 10^{-5}$  kg/s на заднем фронте импульса тока отрицательной короны появляются две точки перегиба (рис. 1, *b*). Когда ток смещения достигает максимума  $I_1$ , наступает небольшой спад  $\approx 1-2 \mu\text{A}$ , затем в течение  $1-2 \mu\text{s}$  ток в импульсе



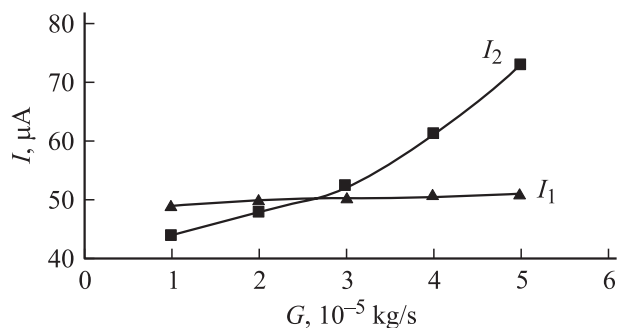
**Рис. 1.** Осциллограммы импульсов тока отрицательной короны в потоке аргона при различных расходах газа  $G$ .  $I_1$  — амплитуда тока смещения;  $I_2$  — амплитуда тока проводимости;  $I_3$  — критический ток, при котором наблюдается выпуклость заднего фронта импульса тока. Межэлектродное расстояние  $d = 4$  см, напряжение  $U = 5.66$  кВ,  $[t] = 0.1$  мс/див,  $[I] = 20$   $\mu$ А/див; а —  $G = 1 \cdot 10^{-5}$ ; б —  $4 \cdot 10^{-5}$  кг/с.

возрастает  $\approx 4\text{--}6$   $\mu$ А (амплитуда тока проводимости  $I_2$ ), и как показывает эксперимент, величина  $I_2$  существенно зависит от расхода газа  $G$ . Достигнув максимума  $I_2$ , ток резко уменьшается до критического значения тока  $I_3 \approx 10$   $\mu$ А и характеризуется следующей точкой перегиба на заднем фронте импульса. После перегиба ток в импульсе спадает (за время порядка нескольких микросекунд) до  $2\text{--}3$   $\mu$ А и удерживается на таком уровне вплоть до начала развития следующего импульса. Как показывает эксперимент, при увеличении расхода газа  $G$  величина тока  $I_3$  незначительно уменьшается. С увеличением расхода газа  $G$  амплитуда  $I_1 \approx 50$   $\mu$ А остается постоянной, при этом амплитудное значение тока проводимости  $I_2$  увеличивается (рис. 2).

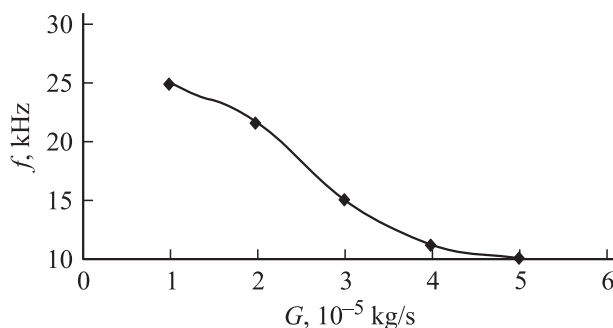
При плавном уменьшении расхода газа  $G$  перегибы на заднем фронте импульса тока сглаживаются и при малых расходах газа практически отсутствуют, что свидетельствует о влиянии дрейфовой области коронного

разряда на характеристики разряда. Появление точек перегиба на заднем фронте импульса тока с увеличением расхода газа  $G$  приводит к увеличению длительности импульса тока, и, как следствие, уменьшается частота  $f$  следования импульсов (рис. 3).

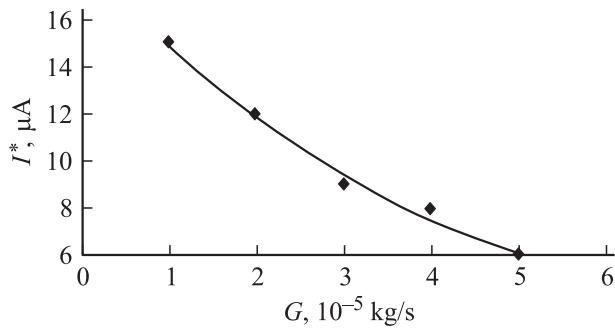
Использование специальных мер стабилизации разряда (газодинамический поток, большое балластное сопротивление  $> 37$  М $\Omega$ ) отодвигает токовую границу появления искры и позволяет реализовать непрерывный переход импульсно-периодического режима отрицательной короны к стационарному разряду без импульсов тока в потоке аргона, идентифицируемого в литературе как тлеющий разряд атмосферного давления [5]. В момент перехода происходит скачкообразная перестройка структуры разряда, заключающаяся в резком сужении коронирующего слоя в момент перехода, исчезновении импульсов тока и появлении светящегося положительного столба между коронирующим слоем и плоским



**Рис. 2.** Зависимость амплитуды тока смещения ( $I_1$ ) и тока проводимости ( $I_2$ ) от расхода газа  $G$ .



**Рис. 3.** Зависимость частоты  $f$  следования импульсов тока отрицательной короны в аргоне от расхода газа  $G$ .



**Рис. 4.** Зависимость предельного тока  $I^*$  перехода импульсно-периодического режима отрицательной короны в режим тлеющего разряда от расхода аргона  $G$ . Межэлектродное расстояние  $d = 2$  см; площадь анода  $S_a = 12.56$  см<sup>2</sup>.

анодом. С увеличением расхода газа  $G$  при постоянном напряжении  $U$  на разрядном промежутке отрицательная корона переходит в режим тлеющего разряда при значительно меньших токах  $I^*$ , т.е. токовая область существования импульсно-периодического режима отрицательной короны с ростом расхода газа значительно сужается (рис. 4).

Исследование характеристик импульсно-периодического режима отрицательной короны в потоке аргона показывает, что при расходе газа  $> 2 \cdot 10^{-5}$  kg/s проявляется заметное воздействие потока газа на катодный слой короны, т.е. механизм формирования импульсов тока, а также на интегральные и локальные характеристики разряда.

## Список литературы

- [1] Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. М.: Энергоатомиздат, 1958. 160 с.
- [2] Trichel G.W. // Phys. Rev. 1938. Vol. 54. P. 1078.
- [3] Крайко А.Н., Ватажин А.Б., Секундов А.Н. Газовая динамика. Т. 2. М.: Физматлит, 2005. 752 с.
- [4] Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Каральник В.Б., Трушкин Н.И. // Физика плазмы. 2001. Т. 27. № 6. С. 550–562.
- [5] Дандарон Г.-Н.Б., Балданов Б.Б. // Физика плазмы. 2007. Т. 33. № 3. С. 273–279.
- [6] Смирнов С.А., Баранов Г.А. // ЖТФ. 2001. Т. 71. Вып. 7. С. 30–38.
- [7] Акишев Ю.С., Дерюгин А.А., Кочетов И.В., Напартювич А.П., Панькин М.В., Трушкин Н.И. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. Вып. 22. С. 1–6.