

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАРЯЖЕННОСТИ ОЗОНИРОВАННОГО ГАЗА ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ ОЗОНАТОРА

И.М. Курко, В.А. Кузнецов

В статье предлагается и обосновывается способ использования струи озонированного в барьерном электрическом разряде газа в качестве транспортера зарядов для электростатического генератора Ван-де-Граафа [1].

Экспериментально нами установлено [3], что озонированный в барьерном электрическом разряде газ является носителем отрицательного электричества. Особенно это ощутимо при турбулентном режиме течения газа через разрядный промежуток озонатора. Оценим причины и величину электрического тока из озонатора.

Основным источником электронов в разрядный промежуток барьерного электрического озонатора является обусловленная высокой напряженностью электрического поля автоэлектронная эмиссия в него из металлического электрода.

Напряженность E электрического поля в разрядном промежутке озонатора изменяется в соответствии с фазами его периодической работы (разряд горит или не горит). Когда разряд не горит, E во всех точках разрядного промежутка может быть вычислена как $E=U/d$, где U – приложенное напряжение, d – ширина разрядного промежутка. Эта формула годится при напряженности поля $E < E_r$, где E_r – напряженность пробоя газа. Подсчитанная по методике Фаулера – Нордгейма для таких напряженностей плотность тока автоэлектронной эмиссии ничтожно мала (при традиционных для озонаторов напряжении – порядка 10 кВ и ширине разрядного промежутка – 3 мм).

Поскольку эксперимент показывает у озонированного газа наличие заряда, и формулы для описания автоэлектронной эмиссии считаются проверенными, то приходится предположить, что реально в разрядном промежутке озонатора у поверхности металлического электрода напряженность электрического поля в какие-то моменты времени значительно больше чем E_r . Когда загорается корона барьерного разряда, разрядный промежуток заполняется низкотемпературной плазмой, проводимость которой практически бесконечна. Падение же напряжения происходит в приэлектродных слоях Дебая (рис. 1), толщина L_D которых может быть оценена по формуле [2]

$$L_D = \sqrt{\varepsilon_0 k \frac{T}{e^2 n}}, \quad (1)$$

ε_0 – электрическая постоянная; T – температура газа по Кельвину; e – заряд электрона; k – постоянная Больцмана; n – количество молекул в единице объема газа. При напряжении в 10 кВ толщина слоя Дебая равна $5,01 \cdot 10^{-7}$ м. При этом напряженность электрического поля в слое Дебая у металлического электрода получается равной $9,9 \cdot 10^6$ кВ/м. При такой большой электрической напряженности поля в слое Дебая в то время, когда металлический электрод озонатора имеет отрицательный потенциал, автоэлектронная эмиссия будет главной причиной заряжения плазмы отрицательным электричеством. Причем утечка электронов на положительный электрод будет невозможна, так как он защищен стеклянным барьером. Таким образом, наиболее вероятным источником отрицательного заряжения плазменного «тела» является слой Дебая, или ему подобное образование двойного электрического слоя на поверхности металлического электрода озонатора при отрицательном на нем знаке приложенного переменного напряжения.

Так как неизвестны исследования о закономерностях автоэлектронной эмиссии в неравновесную плазму коронного разряда, то для оценки порядка величины плотности электрического тока эмиссии применяем методику Фаулера–Нордгейма. Возможно, применение этих закономерностей при дальнейших исследованиях оправдывает себя, так как полученная выше толщина слоя Дебая соизмерима с длиной свободного пробега молекул, то есть условия в нем для эмитируемых электронов можно сравнить с вакуумом.

Расчеты показывают, что плотность тока здесь имеет порядок 10^{18} А/м². Такой большой ток не сохраняется в течение всего времени существования короны, так как приводит к практически мгновенному заряданию плазменного тела отрицательным зарядом и, тем самым, ликвидации слоя Дебая на металлической поверхности 1 (рис. 1) и соответственного возрастания этого слоя на поверхности стеклянного барьера 3 (рис. 1). Этот процесс происходит в самый начальный момент зажигания короны. Заряд же, который получит плазменное тело, может быть определен без расчета тока автоэлектронной эмиссии, а непосредственно как заряд слоя Дебая, то есть как заряд конденсатора с первоначальным значением толщины слоя Дебая. Он же и отдаст затем свой заряд в плазму. Емкость такого конденсатора будет равна

$$C_{Deb} = \frac{\varepsilon_0 S}{L_D}, \quad (2)$$

где S – площадь электродов озонатора. Заряд слоя Дебая q_{Deb} находим по формуле

$$q_{Deb} = \frac{U_r C_{Deb}}{2}, \quad (3)$$

где U_r – напряжение горения разряда в данном разрядном промежутке. Этот заряд уходит в плазму за одно зажигание разряда. В секунду таких порций заряда при частоте переменного тока 50 Гц будет 50. Выноситься же заряда из разрядного промежутка будет только половина. Таким образом, получается, что ток с газом из разрядного промежутка будет равен

$$I = \frac{V_{turb} q_{Deb}}{2L_{can}}, \quad (4)$$

где V_{turb} – скорость турбулентного потока газа, L_{can} – длина канала разрядного промежутка. Подсчет по формулам (3) и (4) при скорости потока газа $V_{turb} = 10$ м/с, и площади электродов озонатора – 0,1 м² и $L_{can} = 1,5$ м дает плотность электрического заряда в разрядном промежутке озонатора в отрицательный полупериод работы его металлического электрода равную $5,69 \cdot 10^{-3}$ к/м³, а ток из озонатора 5,5 мА. Это очень существенный ток, поэтому, действительно, барьерные электрические озонаторы с турбулентным режимом течения озонируемого газа можно использовать в качестве источников отрицательного электричества и в качестве транспортера зарядов в генератор статического электричества (генератор Ван-де-Граафа [1]) и для коагуляции аэрозольных положительно заряженных частиц в воздухе.

Предлагается следующая схема применения барьерного электрического озонатора в качестве источника ионов для высоковольтного генератора постоянного тока (рис. 2).

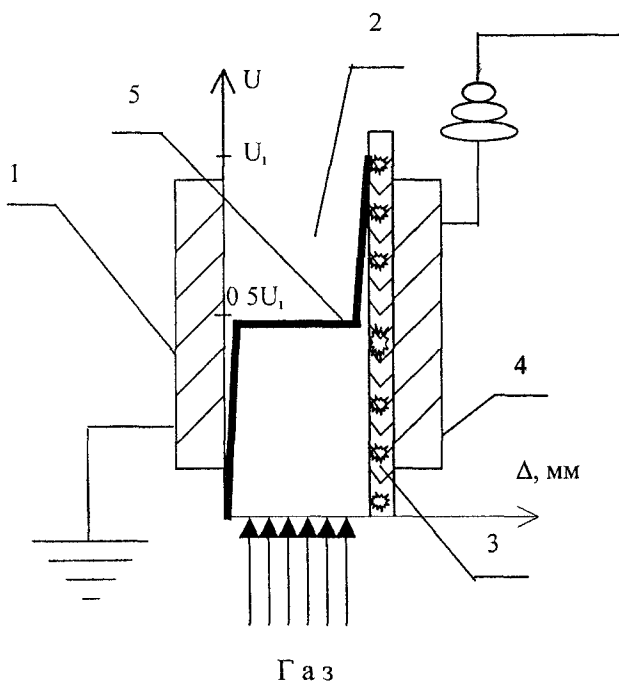


Рис. 1. Изменение потенциала в разрядном промежутке озонатора во время горения разряда:

- 1, 4 – металлические электроды;
- 2 – разрядный промежуток;
- 3 – диэлектрический барьер;
- 5 – изменение потенциала по толщине разрядного промежутка

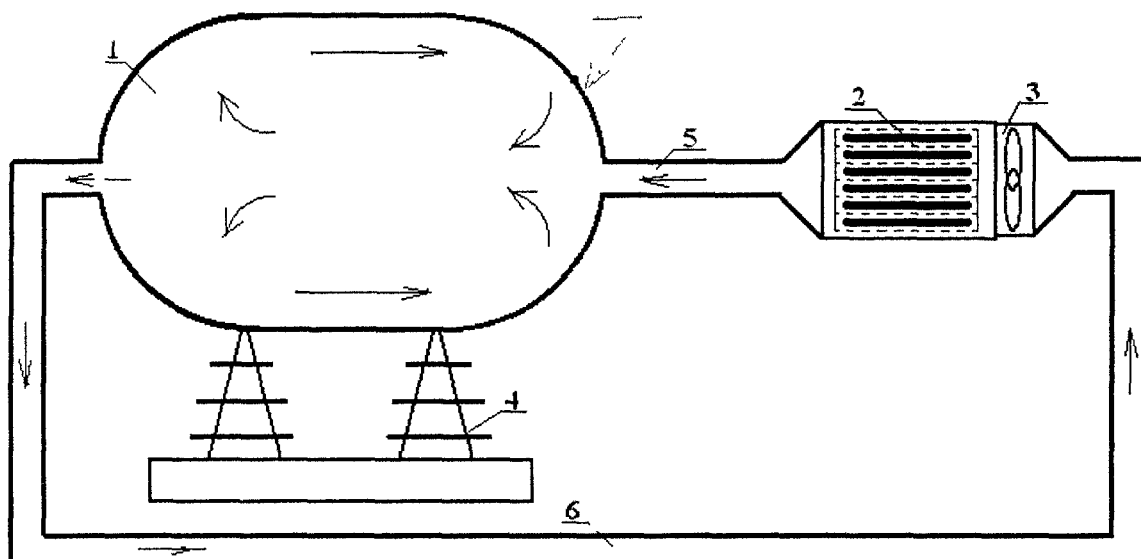


Рис. 2. Генератор Ван-де-Граафа с озонным источником ионов:
 1 – заряжаемый корпус; 2 – озонатор; 3 – вентилятор высокого давления;
 4 – изоляторы; 5, 6 – трубы из изоляционного материала

При геометрических размерах установки, соответствующих характерному радиусу корпуса 1 (рис. 2) – 1,4 м, площади электродов озонатора – 0,1 м², толщине разрядного промежутка 3 мм, мощности вентилятора 14 кВт, обеспечивающей скорость течения газа 10 м/с, на корпусе 1 (рис. 2) будет создан рабочий потенциал генератора постоянного тока в 2,5 МВ.

Литература

1. Ardenne M. Tabellen der Elektronenphysik, Ionenphysik und Übermikroskopie. – Berlin II, 1956. – 544 s.
2. Физический энциклопедический словарь / Под ред. А.М. Прохорова. – М: Сов. энциклопедия, 1984. – 944 с.
- 3 Кирко И.М., Кузнецов В.А. Ламинарный и турбулентный режим течения в плазме коронного разряда // Восьмой всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике (Пермь 23–29 августа 2001 г.): Аннотации докладов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – С. 322.

Поступила в редакцию 25 февраля 2003 г.