

**ОБЩЕСТВЕННО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

УДК 621.38:621.9.048.7

**Боқанова Алия Абылгазиевна – к.т.н., доцент (Астана, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева)**

**Мустафаева Назира Маматкуловна – соискатель (Алматы, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева)**

**Абылова Асем Мухамедьяровна – соискатель (Актау, Каспийский университет технологии и инжиниринга им. Ш.Есенова)**

**ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ЧЕХЛА КОРОНЫ  
НА ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ ОЗОНА**

В настоящее время единственным экономически выгодным способом получения озона является электросинтез озона в электрическом разряде, где протекают химические процессы в газе, ведущие к образованию наиболее устойчивого продукта – озона. Изучение электросинтеза озона имеет не только теоретическое, но и практическое значение. В последние годы, благодаря окислительным способностям, озон находит широкое применение в самых различных отраслях промышленности, в химической технологии при водоподготовке, в сельском хозяйстве и медицине [1].

Наиболее часто синтез озона осуществляется в барьерном разряде, в котором создаются условия для образования озона, когда, имеют место низкомолекулярные, и высокие электронные температуры. Однако, озонаторы на барьерном разряде имеют следующие недостатки: высокие требования к свойствам диэлектрических материалов, которыми покрывают поверхность электродов; точная центровка электродов относительно друг друга; жесткие требования к чистоте газа, что приводит к необходимости специальной газоподготовки, и к удорожанию стоимости озонатора на барьерном разряде.

Наиболее близким к барьерному разряду по характеру протекающих в нем физико-химических процессов, является коронный разряд на микроэлектродах и в особенности, отрицательная корона, когда коронирует электрод с малым радиусом кривизны с отрицательной полярностью. Одним из простейших видов униполярного коронного разряда является отрицательная корона, в которой прохождение электрического тока через газ осуществляется только отрицательными ионами. При достаточно высоком напряжении, между двумя электродами нейтральные частицы газа в тонком слое около электрода в виде микропроволоки ионизируются и возбуждаются. Этот тонкий слой обычно называют короной или коронирующим слоем (чехлом). В остальной части разрядного промежутка ионизация газа электронами и фотонами отсутствует, и свободных электронов нет. Это внешняя область коронного разряда [1]. Поскольку толщина этого коронирующего слоя влияет на выход озона, авторами была разработана методика определения плазменных параметров чехла положительной короны, в основу которой положены результаты экспериментальных исследований частотных характеристик коронного разряда при малых межэлектродных расстояниях (2-20 мм) в режиме униполярной положительной короны [2,3]. Для этого было собрано устройство, где полностью сформировавшийся коронный разряд подвергается действию дополнительного переменного напряжения с частотой в диапазоне от 200 Гц до 1,5 МГц с амплитудой от 10 до 100В. Подавая переменное напряжение с регулируемой частотой и малой амплитуды на коронно-разрядный промежуток и измеряя высокочастотную (ВЧ) проводимость этого промежутка, мы как бы осуществляем ВЧ-зондирование развитой

короны, аналогичное методам микроволновой диагностики плазмы. В этом случае наиболее чувствительным к воздействию ВЧ-поля является коронирующий слой (чехол) разряда, где протекают все основные ионизационные процессы в коронном разряде.

Поэтому естественно предполагать, что плотность электронов ( $n_e$ ) и их частота столкновений с нейтралями ( $v_m$ ) в чехле короны могут быть определены по значениям ВЧ-проводимости разрядного промежутка прохождению небольшого микроволнового поля, используемого в качестве зондирующего сигнала. ВЧ-проводимость коронноразрядного промежутка определяется отношением значения высокочастотного тока короны к величине приложенного переменного напряжения. Ввиду того, что зондирующее ВЧ-поле имеет малую амплитуду (10-100 В) по сравнению с основным постоянным напряжением (3-4 кВ), поддерживающим коронный разряд, измеряемая проводимость называется динамической дифференциальной проводимостью ( $q_d$ ) в отличие от статической, определяемой из вольтамперной характеристики короны. При измерении  $q_d$  развитой короны в широком диапазоне частот (от 200 Гц до 1,5 мГц) обнаружен ряд аномалий в зависимостях  $q_d$  от частоты зондирующего напряжения. Все измерения были проведены для положительной короны на микропроводе в коаксиальном цилиндре. Для исключения влияния геометрической емкости камеры коронного разряда, необходимо также измерять дифференциальную ВЧ-проводимость камеры ( $q_e$ ) при отсутствии коронного разряда. Для этого определяют ток смещения через данный промежуток времени при значении напряжения зондирующего поля, равное при определении  $q_d$ . Зная полный ток коронирующего промежутка и ток его геометрической емкости можно определить так называемый «компенсированный» ток, который позволяет вычислить дифференциальную ВЧ-проводимость самой короны ( $q_d - q_e$ ).

Из экспериментальных данных следует, что полная  $q_d(f)$  в области частот до 200 кГц имеет пологий участок (минимум), расположение которого зависит в основном от диаметра внешнего цилиндра. С повышением частоты, кривая  $q_d(f)$  медленно возрастает, достигая максимума и при определенной частоте, зависящий от диаметра коронирующей проволоки и величины тока коронного разряда, пересекает прямую проводимости геометрической емкости разрядной камеры ( $q_d = q_e$ ), снижаясь до минимума, а потом снова растет.

Таким образом, по характерным точкам на кривой  $q_d(f)$  в виде максимума, равенства  $q_d = q_e$  и минимума определяются соответствующие им критические частоты:  $f_{\max}$  ( $q_d > q_e$ ),  $f_0$  ( $q_d = q_e$ ) и  $f_{\min}$  ( $q_d < q_e$ ). Следует отметить, что наиболее вероятно, возникновение критических частот связано с резонансными явлениями в плазме чехла коронного разряда. Это обстоятельство, в свою очередь, позволяет рассчитать значения  $n_e$  и  $v_m$ , если воспользоваться полученными данными резонансных точек  $q_d$  и  $f$  и применить известные выражения диэлектрической проводимости из элементарной теории ионизованного газа в поле электромагнитной волны. В конечном итоге, после ряда теоретических выкладок была получена система из двух уравнений:

$$q_{\max} = 2,82 \cdot 10^{-4} (n_e v_m) / (\omega_m^2 + v_m^2) \quad (1)$$

$$n_e v_m / \omega_0 (\omega_0^2 + v_m^2) = 5,31 \cdot 10^3 (1 - 32,75 n_e / (\omega_0^2 + v_m^2)), \quad (2)$$

где,  $\omega_m = 2\pi f_{\max}$ ,  $\omega_0 = 2\pi f$ . Аналитическое выражение данной системы уравнений с целью определения значений  $n_e$  и  $v_m$  представляется весьма затруднительным, поэтому был использован микропроцессор, который по заданной программе производит расчеты  $n_e$  и  $v_m$  по формулам (1,2) и обеспечивает непрерывность процесса измерения параметров высокочастотного напряжения от двух разрядных камер одновременно.

Авторами предлагается устройство из двух одинаковых камер с идентичным по форме и размерам электродов, с источником питания и генератором высокочастотного

напряжения. Сигнальные выходы от двух преобразователей тока соединены с входами балансной схемы разности напряжений, тогда как выходной сигнал балансной схемы подается на один из входов микропроцессора. На другие входы микропроцессора подаются через разделительные емкости сигналы от двух плеч камер. Высокое напряжение подается на основную камеру коронного разряда через балластное сопротивление, а высокочастотное напряжение подается на обе камеры через другие разделительные емкости (рисунок 1) [3].

Этим способом можно определить толщину чехла коронного разряда и он может быть использован в измерительной технике для определения геометрических параметров стационарных плазменных сгустков и образований.

Известен способ определения толщины чехла коронного разряда в коаксиальных цилиндрических электродах по интенсивности свечения чехла короны, измеряемой фотоэлектрическим или фотографическим методами [2]. При этом оказалось, что толщина коронирующего слоя (чехла) не зависит от приложенного напряжения и представляется в виде  $1,56 r_0^{0,65}$ , где  $r_0$  – радиус центрального электрода в мм. Однако при фотоэлектрическом измерении имеются следующие недостатки:

- максимальный уровень измеренной кривой распределения яркости чехла по радиусу отличается от уровня края чехла более чем  $10^3$  раз;
- ввиду применения УФ-линз преимущественно измеряется свечение внутренней части чехла короны, где протекает интенсивная ионизация и возбуждение атомов и молекул газа, что приводит к неопределенности границы края чехла короны.

При фотографическом методе измерения из-за необходимости принятия специальных мер еще больше усложняется измерительная аппаратура, что приводит к снижению точности определения толщины чехла короны.

Для определения толщины чехла коронного разряда, обеспечивающий высокую точность измерения искомой величины и исключая влияние на результаты измерения нарушения формы переменного напряжения, было разработано устройство для диагностики плазменных параметров чехла короны (рисунок 1). При диагностике плазмы появляется высокая точность определения толщины чехла коронного разряда, исключая влияние на результаты измерения нарушения формы переменного напряжения. В отличие от известного способа, в нашем варианте, создают резонансные колебательные процессы в плазме чехла коронного разряда, путем регулирования частоты высокочастотного напряжения и затем, по значению резонансной частоты, расчетным путем определяют искомую величину. Отличительными признаками предлагаемого способа являются создание резонансных колебательных процессов в плазме чехла коронного разряда путем регулирования частоты высокочастотного напряжения и определение значения резонансной частоты, зависящей от размера толщины чехла короны, причем в этом случае влияние формы переменного сигнала на точность измерения исключается.

При построении частотной зависимости ВЧ-проводимости короны по арифметической разности между суммарным током и током смещения (емкостной) было установлено, что значения  $q_d$  могут быть больше или меньше, или равно значению ВЧ-проводимости разрядного промежутка при отсутствии постоянного тока короны ( $q_e$ ). Для нас наибольший интерес представляет область частот, когда  $q_d = q_e$ , что, в первую очередь, связано с электронной составляющей тока в чехле коронного разряда. В этом случае как бы наступает резонанс плазмы в чехле короны, т.е. сопротивление зоны чехла короны к переменному напряжению становится минимальным (резонанс напряжения) и значение  $q_d$  сравнивается с  $q_e$ . Установлено, что частота  $f_0$ , при которой  $q_d - q_e = 0$ , очень чувствительна к изменениям толщины коронирующего электрода и тока коронного разряда. Это означает, что  $f_0$ , в первую очередь, будет зависеть от значения скорости

дрейфа электронов, их плотности и изменения длины свободного пробега электронов в коронирующем слое разрядного промежутка.

Исходя из полученных экспериментальных данных и теоретических выкладок для положительной короны в цилиндрической системе электродов, была выведена расчетная формула для толщины коронирующего слоя (чехла):

$$L_e = \sqrt{\frac{0,7K_e U_0}{f_0 \ln(R/r_0)}}, \quad (3)$$

где  $r_0$  и  $R$  – радиусы коронирующего и внешнего электродов, см;  $K_e$  – подвижность электронов в чехле короны,  $\text{см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ ;  $f_0$  – резонансная частота при  $q_d = q_e$ , Гц;  $U_0$  – действующее значение переменного напряжения, В.

Таким образом, при постоянстве значения тока коронного разряда и при известных значениях  $R$ ,  $r_0$ ,  $U_0$ ,  $K_e$  и  $f_0$  выведенная расчетная формула позволяет определить толщину чехла короны для данной конфигурации электродов. При других размерах и формах электродной системы также выводится расчетная формула для определения  $L_e$ , исходя из распределения электрического поля и зоны дрейфа электронов в коронирующем слое с учетом расположения границы чехла короны в области с напряженностью поля 31 кВ/см (минимальное пробойное напряжение между электродами на расстоянии 1 см).

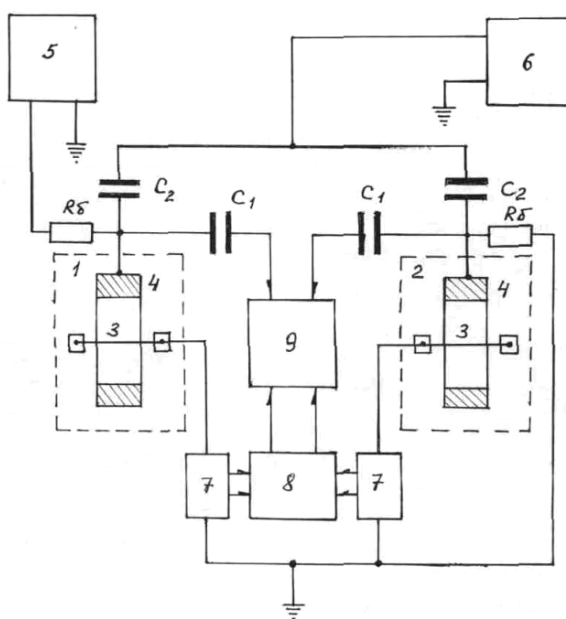
Значение  $f_0$  ( $q_d = q_e$ ) для данной конфигурации электродов и при постоянстве характеристик коронного разряда (постоянство тока разряда и атмосферных условий) находится следующим образом: сначала определяются зависимости ВЧ-проводимости разрядного промежутка ( $q_e$  – емкостная) от частоты переменного напряжения при отсутствии коронного разряда. Затем, строятся зависимости ВЧ-проводимости при присутствии коронного разряда ( $q_d$ ) и по совпадению  $q_d = q_e$  находят значение  $f_0$ , которое является расчетным значением для определения толщины чехла коронного разряда.

Экспериментальные значения  $f_0$  были определены для коронного разряда в цилиндрической системе электродов, когда  $R = 0,2$  см,  $U_0 = 10$  В,  $I = 20$  мкА, а для  $K_e = 540 \text{ см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$  принято его среднее значение в чехле короны при нормальных условиях атмосферного воздуха в Алматы ( $p = 690$  мм рт. ст.,  $T = 20$  °С). В таблице 1 приведены значения  $f_0$  для различных значений  $r_0$  и расчетные значения толщины чехла короны  $L_e$ , а для сравнения представлены значения  $L_e$ , рассчитанные по известной формуле  $1,56 r_0^{0,65}$ .

Таблица 1 – Зависимости резонансной частоты от радиуса короны

$r_0$ , см	$5 \cdot 10^{-4}$	$15 \cdot 10^{-4}$	$30 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$
$f_0$ , Гц	$1450 \cdot 10^3$	$1250 \cdot 10^3$	$810 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$
$L_e$ , см	$20,63 \cdot 10^{-3}$	$24,15 \cdot 10^{-3}$	$30,1 \cdot 10^{-3}$	$56,13 \cdot 10^{-3}$
$1,56 r_0^{0,65}$ , см	$11,1 \cdot 10^{-3}$	$22,82 \cdot 10^{-3}$	$28,02 \cdot 10^{-3}$	$52,4 \cdot 10^{-3}$

Данные таблицы 1 показывают, что резонанс плазмы чехла короны наступает при различных частотах в зависимости от значения  $r_0$ , которое определяет в первую очередь величину толщины коронирующего слоя (чехла) коронного разряда. Как следовало ожидать, значения  $L_e$ , полученные по предлагаемому способу несколько превышают для того же ряда радиусов  $r_0$  известные данные  $L_e$ .



1 и 2 – камеры устройства; 3-4 – электроды; 5 – высоковольтный источник питания; 6 – генератор высокочастотного напряжения; 7 – преобразователь тока; 8 – балансная схема разности напряжений; 9 – микропроцессор;  $R_5$  – балансное сопротивление;  $C_1$ ,  $C_2$  – разделительные емкости.  
Рисунок 1 – Устройство для диагностики плазмы коронного разряда

#### Выводы:

1. По значению резонансной частоты можно определить размер толщины чехла короны, причем в этом случае влияние формы переменного сигнала на точность измерения исключается.
2. Диагностика плазмы коронного разряда позволяет определить плазменные параметры чехла стационарного коронного разряда, от которого зависит выход озона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Предпатент 14033 РК. Устройство для диагностики плазмы коронного разряда. /Боканова А.А. и др.; опубл. 16.02.2004, Бюл. № 2. – 4 с.
2. Боканова А.А., Бокова Г.И., Баймаханова З.А., Сыдыкова Г.К. Методика определения плазменных параметров чехла положительной короны. –Алматы: Вестник АГУ им. Абая, 2003. – №1. –С.87-89.
3. Боканова А.А. Создание теоретических и технологических основ озонной технологии для очистки и обеззараживания воды: дис.... докт. Наук. –Алматы, 2010. – 327с.

УДК 669.712.2; 661. 862. 32; 628.335

Мусина Умут Шайхисламовна – к.т.н., доцент (Алматы,  
Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева)

#### МИКРОАНАЛИЗ КОКСУСКИХ ШУНГИТИСТЫХ ПОРОД

В настоящее время известно, что шунгиты являются перспективным сырьем многоцелевого назначения: как восстановитель в металлургии; композиционная добавка в производстве резинотехнических изделий; теплоизоляционный материал в строительстве; удобрение и кормовая добавка в сельском хозяйстве; лечебный препарат в медицине; сорбент, фильтрант, реагент, дезактиватор в экологии и др. [1, 2].

Область применения коксуских шунгитов зависит от их физико-химических свойств.