

УДК 539.19; 541.13

О ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОЗОНАТОРОВ С ДВУХБАРЬЕРНЫМ РАЗРЯДОМ

МАМЕДОВ Н.А., САДЫХЗАДЕ Г.М., ДЖАБАРОВ Дж.Н., АЛЕКБЕРОВ Ш.Ш.

Современная технология водоподготовки требует более тщательного изучения физических процессов, происходящих в озонаторах, являющихся одним из основных звеньев технологической цепочки.

В результате многочисленных исследований по использованию различных видов газового разряда для электросинтеза озона распространение получили озонаторы, использующие три формы разряда:

1. Барьерный разряд – большая совокупность импульсных микроразрядов в газовом промежутке длиной 1-3 мм между двумя электродами, разделенными одним или двумя барьерами при питании электродов переменным высоким напряжением частотой от 50 Гц до нескольких кГц;

2. Поверхностный разряд – развивающийся вдоль поверхности твердого диэлектрика, при питании электродов переменным напряжением частотой от 50 Гц до 15-40 кГц;

3. Импульсный разряд – стримерный коронный разряд, возникающий в промежутке между двумя электродами при питании импульсным напряжением длительностью от сотен наносекунд до единиц микросекунд.

Наибольшее распространение получили озонаторы с барьерным разрядом, производительность которых составляет от граммов до 15 кг озона в час.

Рассмотрим систему, где в качестве внутреннего электрода используется дисперсная среда, находящаяся внутри стеклянной трубки (диэлектрика). Внешний электрод – вода, омывающая цилиндрическую стеклянную трубку. Импульсное напряжение между электродами величиной до 15 кВ подается таким образом, что внутренний электрод заряжен отрицательно, т.е. является катодом. Это связано с тем, что при отрицательной короне производительность озонатора увеличивается [1].

Если к электродам приложено импульсное напряжение с амплитудой, превышающей пробивное напряжение газового промежутка, то в нем возникает разряд, состоящий из большого числа отдельных микроразрядов, дискретных в пространстве и во времени. Разряд продолжается до тех пор, пока мгновенное значение напряжения на электродной системе достигнет $U_{гаш}$. Особенностью барьерного разряда является локальное накопление заряда на поверхности диэлектрического барьера в процессе развития каждого отдельного микроразряда [1].

Рассмотрим подробнее это явление. Пусть к промежутку с барьером приложено импульсное напряжение, при котором еще нет разряда. Когда напряженность внешнего поля $E_{вн}$, создаваемого приложенным напряжением, достигает достаточной величины, в промежутке начинается интенсивная ионизация и создается большое число лавин, продвигающихся по направлению к диэлектрическому барьеру. Расчеты показывают, что при нормальной плотности газа в разрядном промежутке длиной 1-3 мм развитие лавин может привести к созданию объемных зарядов с плотностью $\sim 10^8 \text{ см}^{-3}$, при которой выполняется условие перехода лавин в стримеры. При выполнении этого условия в каком-то месте промежутка возникает стримерный канал, головка которого доходит до поверхности электрода, покрытого диэлектрическим барьером. Происходит пробой газового промежутка по многолавино-стримерному механизму. Этому процессу соответствует напряжение $U_{пр}$.

При подходе к диэлектрическому барьеру головки стримера, на поверхность барьера оседают отрицательные заряды-электроны. Диаметр канала стримера составляет $\approx 0,1$ мм. Примерно таких же размеров оказывается и пятно заряда, осевшего на барьер. Положительные ионы, образовавшиеся при развитии лавин, обладают гораздо меньшей подвижностью, они постепенно смещаются в сторону катода и накапливаются на нем. Оседание отрицательного заряда на поверхность диэлектрического барьера вызвано большим объемным сопротивлением материала барьера ($\sim 10^{10}$ Ом·м). Большое поверхностное сопротивление (10^{12} - 10^{17} Ом) препятствует растеканию заряда по поверхности. Образуется заряженный диск с максимальной плотностью заряда в центре диска, заряженный диск создает поле, имеющее как нормальную E_n , так и тангенциальную $E_{\text{пов}}$ составляющие, под действием которой вдоль поверхности барьера начинается поверхностный разряд лавинного типа. В рассматриваемом случае отрицательного заряженного диска поверхностный разряд создает круглое пятно отрицательного заряда с диаметром, во много раз превышающим диаметр начального заряда. Одиночный разряд в промежутке может создать пятно диаметром до 15-17 мм.

Образовавшееся на барьере после поверхностного разряда пятно отрицательного заряда создает свое поле с нормальной составляющей напряженности $E_{\text{ос}}$, направленной встречно к приложенному извне полю. Эта напряженность $E_{\text{ос}}$ может достигать нескольких кВ/см. В итоге суммарное поле в промежутке $E = E_{\text{вн}} - E_{\text{ос}}$ снижается, и ионизационные процессы в этой части промежутка прекращаются, разряд гаснет. Весь описанный процесс длится десятки наносекунд, за которые приложенное напряжение не успевает измениться. Одновременно начинается развитие стримера в другой части промежутка, где процесс повторяется.

В последующих импульсах, следующих с частотой от 50 до 900 Гц, когда разряд развивается в промежутке, в котором на диэлектрическом барьере уже имеется заряд, оставшийся от предыдущего импульса, который не успевает деионизоваться за время одного импульса из-за большого поверхностного сопротивления материала барьера, распределение заряда на поверхности остается тем же, что и в момент окончания разряда в предыдущем импульсе. Это означает, что в новом импульсе поле осевших зарядов складывается с внешним полем, усиливая его. Поэтому в местах, где расположены пятна осевших зарядов, напряженность поля достигает начальной E_n раньше, чем в остальной части промежутка. Развитие ионизационных процессов и разряд оказываются «привязанными» к местам разряда в предыдущем импульсе.

Отсюда следует, что с увеличением частоты импульсов и, следовательно, уменьшением длительности промежутков между ними, уменьшается время, необходимое для релаксации пятен заряда на поверхности диэлектрического барьера, что позволяет получать разрядный процесс при меньших значениях начального напряжения. Кроме того, оседание зарядов на барьере дает возможность принимать участие в реакциях, приводящих к образованию озона, не только зарядов, образовавшихся в результате текущего разрядного процесса, но и зарядов, задержавшихся на диэлектрике после предыдущих разрядов. Это должно приводить к увеличению выхода озона с ростом частоты следования импульсов подаваемого напряжения.

В самом деле, известно [2], что постоянная времени τ стекания заряда по поверхности диэлектрика рассчитывается по формуле

$$\tau = \rho_B \epsilon_0 \epsilon_B$$

где ρ_B и ϵ_B удельное сопротивление и диэлектрическая проницаемость диэлектрика, соответственно; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

В работе в качестве диэлектрического барьера использовалось стекло марки С 47-1, параметры которого взяты из [3]: $\rho_B \sim 10^{10}$ Ом·м, $\epsilon_B = 7,5$. Отсюда $\tau = 6,64$ с.

Сравнив полученные значения времени стекания заряда τ с временами, протекающими между импульсами подаваемого напряжения (от 20 до 1 мс), убеждаемся, что пятна заряда, осевшие на диэлектрике, не успевают релаксировать за время между дву-

мя последующими импульсами, что позволяет зарядам, оставшимся от предыдущих разрядных процессов, участвовать в реакциях, приводящих к образованию озона в разрядном промежутке, а это приводит к увеличению выхода озона.

Соответствующие экспериментальные результаты приведены на графике рис.1. Из него видно, что при увеличении частоты следования импульсов подаваемого напряжения от 100 до 900 Гц выход озона, при прочих равных условиях, повышается от 720 до 929 мг/час.

Следовательно, для увеличения производительности реальных озонаторов, в которых используется электросинтез озона с использованием барьерного разряда, необходимо тщательно подходить как к его конструктивным особенностям, т.е. подбирать материалы барьера (с большим ϵ_B), соблюдать его поверхностную однородность (для избежания возникновения искр и т.д.), так и к разрядным условиям [4,5], т.к., подбирая оптимальную частоту следования импульсов, можно увеличить производительность озонного генератора даже при меньших значениях подаваемого напряжения, что повышает его энергоемкость.

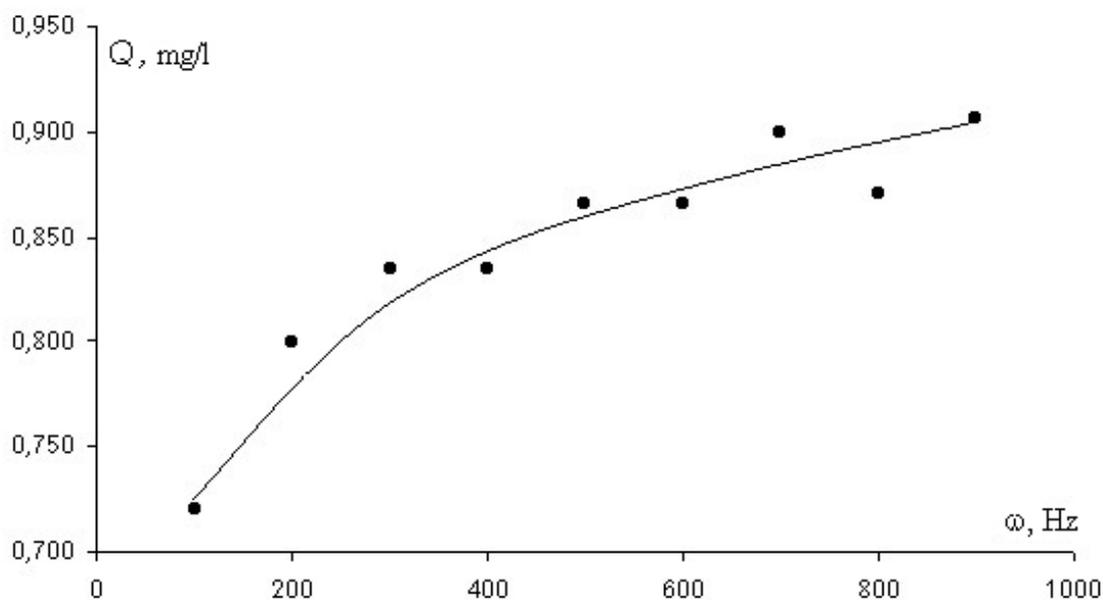


Рис.1. Зависимость производительности озонатора от частоты следования импульсов подаваемого напряжения

При этом надо учитывать, что увеличение производительности озонатора с ростом частоты следования импульсов подаваемого напряжения имеет место только в определенном интервале частот, определяемом конструкцией каждого конкретного озонного генератора.

1. В.В.Лунин, М.П.Попович, С.Н.Ткаченко. Физическая химия озона, М., Изд-во МГУ, 1998.
2. Ч.М. Джуварлы, Ю.В. Горин, Р.Н. Мехтизаде. Коронный разряд в электроотрицательных газах, Элм, Баку, 1988.
3. Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева. Справочник по электротехническим материалам, «Энергия», М. 1974.
4. Mamedov N.A., Sadikhzade G.M., Jabarov J.N., Deionization in active part of ozone generators of Corona discharge, First Int. Conf. on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 23-25 April 2002, Baku.

5. Mamedov N.A., Sadikhzade G.M., Jabarov J.N., Influence of residual ionization on parameters of ozone generation, Energy, Ecology, Economy. VI International Congress, Baku, 30 May – 3 June 2002.

**İKİ BARYERLİ OZONATORUN İSTEHSAL QABİLİYƏTİNİN
TEZLİKDƏN ASILILIĞI HAQQINDA**

MƏMMƏDOV N.Ə., SADIXZADƏ G.M., CABAROV C.N., ƏLƏKBƏROV Ş.Ş.

İşdə iki baryerli impuls boşalmalı ozonatorun çıxışında ozonun konsentrasiyasının impulsların təkrarlanma tezliyindən asılılığı tədqiq edilmişdir.

**ABOUT FREQUENCY DEPENDENCE OF PRODUCING OF OZONE
GENERATORS WITH DOUBLE BARRIER DISCHARGE**

MAMEDOV N.A., SADIKHZADE G.M., JABAROV J.N., ALEKBEROV SH.SH.

In this paper studied dependence concentration of ozone on the exit of double barrier impulse discharge ozone generators from frequency repetition of impulses.