

УДК 553/521 (575.2) (04)

СИНТЕЗ ОЗОНА В КОМБИНИРОВАННОМ РАЗРЯДЕ С ПЛАЗМЕННЫМ ИНДУКЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

А.В. Токарев – канд. физ.- мат. наук, доц.,

А.Ю. Махкамбаев – магистрант

The synthesis of ozone in the combined discharge – on surface and barrier is investigated, which are connected consequently in an electrical circuit. The results of an experimental re-search of the characteristics of ozone synthesis from oxygen are given at atmospheric pressure depending on parameters of a digit contour, voltage and charge of gas.

Введение. Озон, благодаря своим исключительным окислительным свойствам, широко применяется для обеззараживания питьевой воды, очистки промышленных сточных вод, отходящих и хвостовых газов [1]. Существующие устройства для получения озона – озонаторы – основаны на применении барьерного или коронного разрядов [2, 3]. В настоящее время перспективными являются поверхностные разряды, предложенные в работах [4–6], которые отличаются от барьерного динамической емкостью. В подобных разрядах удается получить рекордные концентрации озона ($\sim 200 \text{ г/м}^3$) при минимальных энергетических затратах ($\sim 15 \text{ (кВтч/кг)}$). В традиционных поверхностных разрядах мощность к диэлектрическому барьеру подводится через металлический не коронирующий электрод, хотя существуют различные способы подвода энергии к барьерному разряду с помощью плазменного электрода [7].

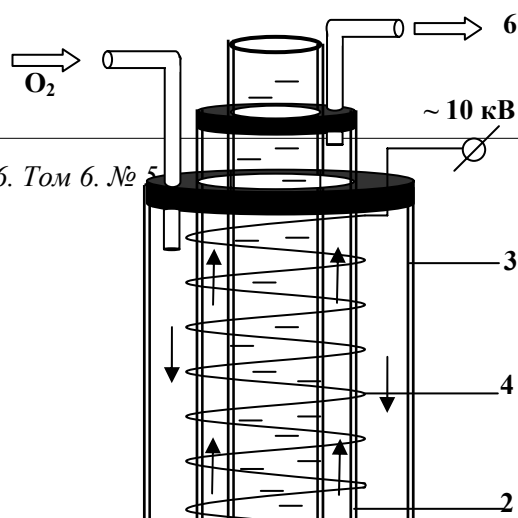
В данной работе синтез озона проводится в комбинированных газовых разрядах различного типа (поверхностный, барьерный), объединенных в одну разрядную ячейку. Отдельные компоненты этой системы рассматриваются как независимые элементы электрической цепи. Интерес к комбинированным плазменным системам такого типа обусловлен возможностью их применения в качестве гене-

раторов озона высоких и сверхвысоких концентраций.

Цель работы: исследовать характеристики синтеза озона из кислорода в комбинированном разряде, основанном на поверхностном и барьерном разрядах.

Определить зависимости энергетического выхода озона от параметров разрядного контура, значений напряжения и расхода газа через разрядную ячейку.

Эксперимент. Озонирующая ячейка (рис. 1) представляет собой систему из стеклянных трубок, расположенных коаксиально друг относительно друга. Корпусом установки является стеклянная труба. Диаметры трубок равны $D_1=25,65 \text{ мм}$, $D_2=30,4 \text{ мм}$, $D_3=37,6 \text{ мм}$ соответственно. Центральная труба является основным охлаждаемым электродом разрядной ячейки. Второй электрод представляет собой спираль (нихром, 0,2 мм), навитую на стеклянную трубу с шагом навивки равной 1 см. При подаче на электроды переменного напряжения до 10 кВ, частотой 50 Гц, между первой и второй трубкой загорается барьерный разряд, а по поверхности трубки развивается поверхностный разряд.



данные практически не отличаются от характеристик классического барьерного разряда (БР). На начальных участках вольт-амперных характеристик при напряжениях близких к зажиганию (менее 3 кВ) барьерного и поверхностного разрядов отмечается ряд изменений не свойственных (БР). Например, наблюдается незначительное уменьшение тока разряда при снижении расхода кислорода через разрядный узел. Это, видимо, связано с увеличением концентрации озона в разрядном промежутке.

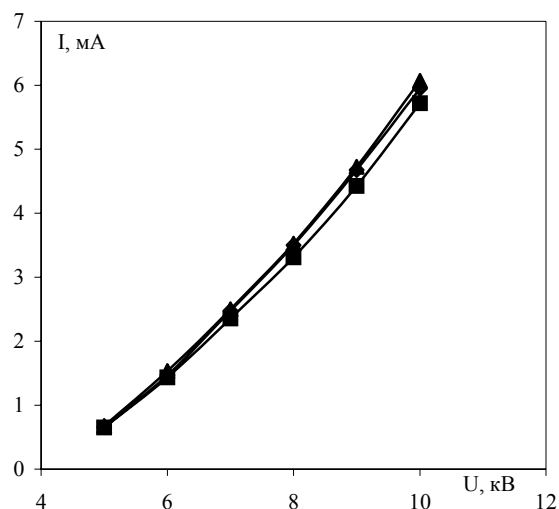


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика разрядной ячейки для расходов кислорода в диапазоне 0,043–0,072 м³/ч.

Рис. 1. Озонирующая ячейка:

- 1 – центральная труба, 2 – промежуточная труба,
3 – корпус установки, 4 – высоковольтный электрод, 5 – заземленный электрод,
6 – патрубок для вывода озона.

Конструкция озонатора позволяет прокачивать кислород через последовательно соединенные разряды и выводить озоновую и кислородную смесь через патрубок. Концентрация озона, синтезируемая на участке до 20 г/м³, определяется при помощи озонметра (мед.озон 254/3), а при высоких концентрациях – с помощью йодометрического метода. Электрические характеристики разряда регистрируются миллиамперметром и вольтметром.

Результаты. На рис. 2 приводятся результаты измерений вольт-амперных характеристик комбинированного электрического разряда при различных расходах кислорода. Полученные

В пределах от 5 до 8 кВ (рис. 3) наблюдается слабая экспоненциальная зависимость концентрации озона от подводимого напряжения, а при более высоких напряжениях – скорость образования озона медленно уменьшается. Это связано с тем, что при повышенных напряжениях устанавливается динамическое равновесие между синтезом озона и его термическим разложением. Однако в области регистрации 100 г/м³ озона стандартный йодометрический метод, возможно, не позволяет однозначно трактовать полученные результаты. При данных концентрациях йодометрический метод занижает реальное содержание озона в газе.

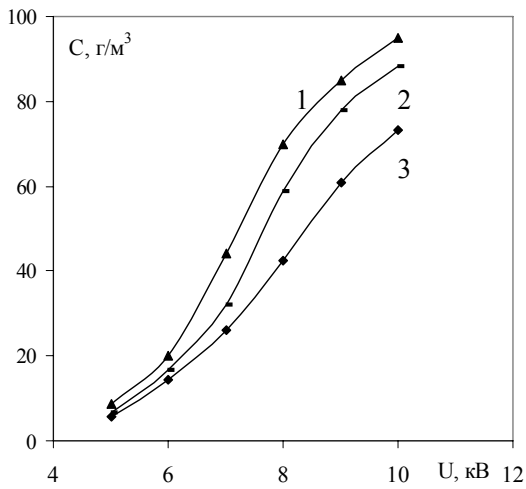


Рис. 3. Зависимости концентрации озона от подводимого напряжения для различных значений расхода кислорода 0,043 (1), 0,058 (2), 0,072 (3) $\text{m}^3/\text{ч}$.

Для эффективного промышленного синтеза озона важным параметром является зависимость энергетического выхода от получаемых концентраций. Как следует из результатов (рис. 4), в интервале от 5 до 8 kV на разрядной ячейке значения удельных энергетических затрат находятся в пределах 9 $\text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$. Для следующих значений расхода кислорода: 0,043 (1), 0,058 (2), 0,072 (3) $\text{m}^3/\text{ч}$ при напряжениях больших 8 kV увеличение энергозатрат в разряд приводит к росту затрат на синтез озона до 14 $\text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$. Это обусловлено соответствующим понижением скорости образования озона (рис. 3).

Рассматриваются характеристики разрядного блока в режиме длительной работы без принудительной подачи охлаждающей воды при напряжении на разряде 10 kV и расходе кислорода 0,072 $\text{m}^3/\text{ч}$. В начальные моменты времени (рис. 5) наблюдается быстрый рост концентрации озона до 80 g/m^3 на выходе озонатора. В течение дальнейших 60 мин работы озонатора (рис. 5) концентрация озона практически не изменяется. Удельные энергетические затраты (рис. 6), идущие на синтез озона, после выхода характеристик озонатора на практически постоянный режим работы с течением времени увеличиваются незначительно – с 10 до 11 $\text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$. Это связано с повышением температу-

ры диэлектрических барьеров и, как следствие, ростом электрического тока комбинированного разряда. Проведенные эксперименты подтверждают предположения, что данная комбинация электрических разрядов (поверхностного и барьерного) позволяет отказаться от водяного охлаждения путем его замены воздушным.

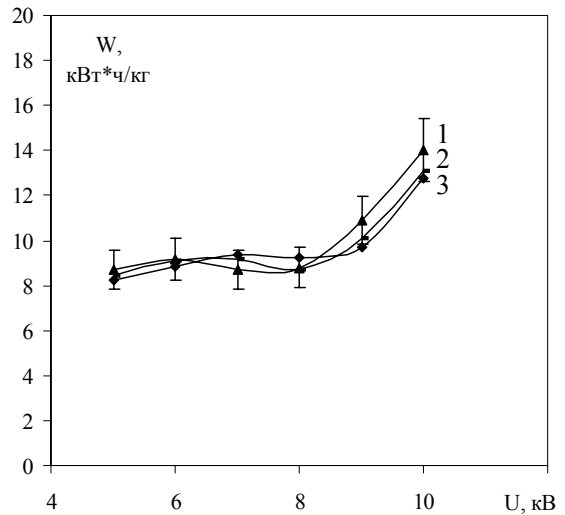


Рис. 4. Зависимость удельных энергозатрат от напряжения на разрядной ячейке для следующих значений расхода кислорода: 1 – 0,043, 2 – 0,058, 3 – 0,072 $\text{m}^3/\text{ч}$.

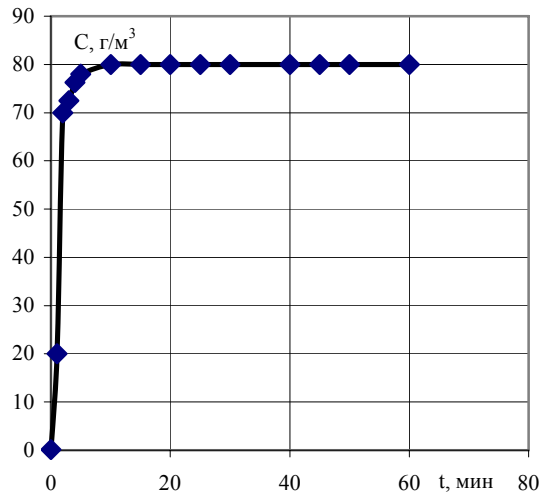


Рис. 5. Зависимость концентрации озона от времени работы озонатора.

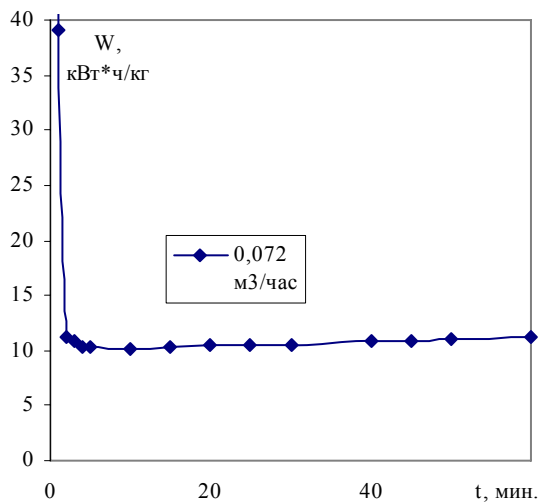


Рис. 6. Зависимость удельных энергозатрат на синтез озона от времени.

Выводы

1. Предложен метод синтеза озона в комбинированном разряде, в котором поверхностный и барьерный разряды соединены последовательно в электрическую цепь.

2. Озонатор, построенный на основе комбинированного разряда, позволяет получать высокие концентрации озона до 100 г/м^3 при энергетических затратах порядка 12 кВтч/кг .

3. Отсутствие принудительного водяного охлаждения не влияет на кинетику электро-синтеза озона и можно рекомендовать в данных конструкциях использовать озонаторы с воздушным охлаждением.

4. Йодометрический метод при определении высоких концентраций озона, видимо, дает заниженные значения концентраций.

Литература

1. Самойлович В.Т., Гибалов В.И., Козлов К.В. Физическая химия барьерного разряда. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – С. 176.
2. Филиппов Ю.В., Вобликова В.А., Пантелеев В.И. Электросинтез озона. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – С. 236.
3. Abramovich L.J., Danilin V.V., Kokurkin M.P., Paschin M.M. // Regional Conference on Ozone Generation and Application to Water and Waste Water Treatment. Moscow, Russia 26–28 May 1998. – М.: Publishing “Sibiko Interneshnl”, 1998. – P. 124.
4. Masuda S. / “IEEE Trans. Ind. Appl.” – 1988. – V. 24. – №2. – P. 223.
5. Энгельшт В.С. Патент России 17544647. // Б.И. – 1992. – №30. – С. 244.
6. Masuda S., Kiss E. // Electrostatics-87. – Oxford, 1987. – P. 243.
7. Токарев, А.В. Юданов В.А., Кель О.П., Алемский И.Н., Никуличева Т.Б. // Вестник КPCУ. – 2003. – Т. 3. – № 5. – С. 24.