

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА И ВЫХОДА ОЗОНА

У.К.Дегембаева,

Алматинский университет энергетики и связи,

Боканова А.А.

Евразийский национальный университет им. Гумилева, г.Астана

In article are shown results of the experimental tests confirming, work of ozonizers of not having barrier with a high resource.

Мақалада барьерлері жоқ ресурсы жоғары озонаторлардың жұмысын дәлелдейтін эксперименталды сынақтардың нәтижелері көрсетілген.

Вплоть до настоящего времени мало, а в отдельных случаях неэффективно используется озонирование. Главные причины: низкий ресурс, ненадежность и сложность в эксплуатации озонаторных установок. Это относится как к отечественному, так и к зарубежному оборудованию.

Из основных элементов озонатор включает в себя секционированный вдоль и поперек потока газа электрод и общий электрод, последовательно подключенную к каждому элементу секционированного электрода балластную емкостную нагрузку. С целью создания высокоресурсных озонаторов был проведен ряд экспериментов с безбарьерным озонатором по определению его производительности. Во всех без исключения случаях была зафиксирована очень низкая концентрация озона не превышающая 0,5 г/м³. В то же время при внесении диэлектрического барьера в зону разряда синтез озона резко активизировался, и концентрация его повысилась до 6 г/м³. Эксперименты показывают, что основным производителем озона является расширенная, прилегающая к барьеру, часть канала микроразряда [1-4].

Более убедительным и подтверждающим вышеприведенные результаты является эксперимент на специальной установке. Экспериментальная установка состоит из двух камер. Камеры герметичные и разделены друг от друга перегородкой, в которой расположен секционированный вдоль и поперек потока газа разрядный электрод.

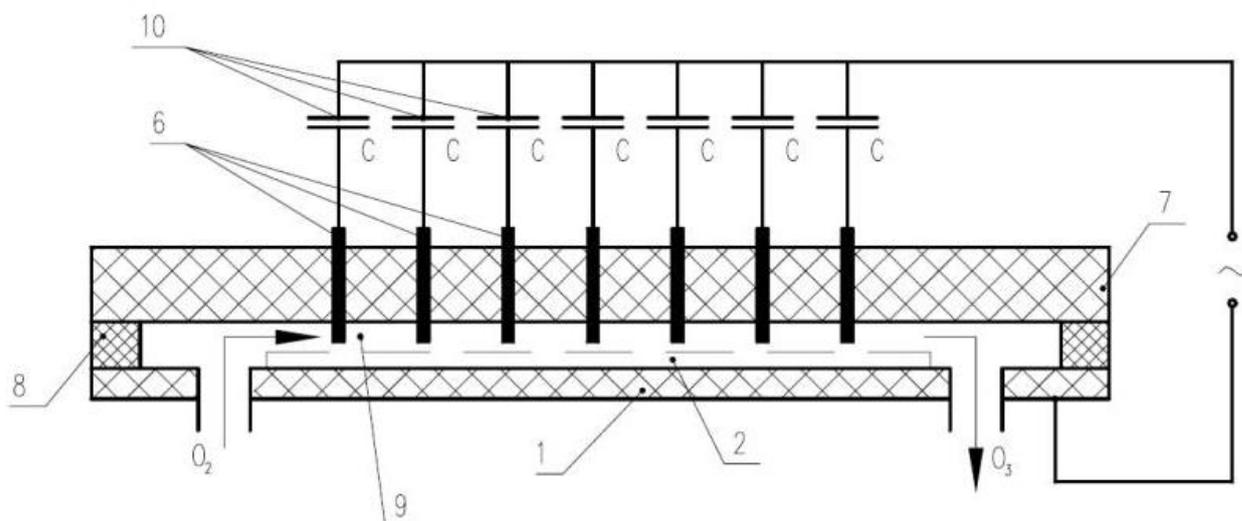
Рабочий газ, содержащий кислород, поступает в каждую камеру отдельно. Озоносодержащий газ отводится из каждой камеры также отдельно. Причем в одной камере есть барьер, а в другой нет. Эксперименты показали, что в камере, где происходит барьерный разряд, производительность по озону значительно выше, чем в камере, где барьер отсутствует.

С помощью экспериментальных моделей установлено участие разных частей микроканала барьерного разряда в синтезе озона. Основная проблема ресурса - выход из строя озонаторных камер. Так как озон является сильнейшим окислителем, то в озонаторной камере происходит интенсивный износ ее элементов. Как правило, первым из строя выходит диэлектрический барьер, наиболее уязвимый элемент озонаторной камеры. Кроме воздействия озона, барьер испытывает разрушения, обусловленные как микроразрядами, так и непосредственно электрическим полем. Совместное воздействие этих факторов приводит к выходу из строя диэлектрического барьера, в итоге к короткому замыканию между электродами озонаторной камеры.

Более глубоко рассмотрены причины разрушения барьера и предложены устройства, приводящие к резкому увеличению срока службы озонаторной камеры. Это генераторы озона на основе барьерного разряда с вращающимся барьером. Однако, реализация подобных устройств связана с определенными трудностями из-за вращения барьера, например, герметизация озонаторных камер. Другое радикальное решение: вообще обойтись без барьера. На рисунке 1 схематично приведено это устройство. Из основных элементов озонатор включает в себя секционированный вдоль и поперек потока газа электрод 6 и общий электрод 1, последовательно подключенную к каждому элементу секционированного электрода балластную емкостную нагрузку 10. С целью создания высокоресурсных озонаторов был проведен ряд экспериментов с безбарьерным озонатором по определению его производительности. В процессе эксперимента варьировались значения емкости балластной нагрузки от $C=0,5$ пФ до $C=2$ пФ, что примерно должно соответствовать барьерной емкости отдельного микроразряда в барьерном озонаторе. При этом также изменялись как высота газоразрядного зазора от 1 до 5 мм, так и число секций секционированного электрода от 60 до 100 штук.

При использовании в качестве озонируемого газа неосушенного воздуха во всех без исключения случаях была зафиксирована очень низкая концентрация озона не более $0,5$ г/м³. Такие показания лимитированы чувствительностью озонатора. В то же время при внесении диэлектрического барьера в зону 2 (рисунок 1) синтез озона резко активизировался и концентрация его повысилась вплоть до 6 г/м³ [5].

Эксперименты с осушенным воздухом дали следующие результаты: концентрация озона 1,5 г/м³ при отсутствии и 15 г/м³ при наличии барьера. За счет осушки воздуха эффективность синтеза озона активизировалась в обоих случаях, при сохранении барьерного эффекта. Для объяснения таких результатов необходимо более подробно рассмотреть структуру барьерного разряда. Барьерный разряд возникает между двумя диэлектриками или диэлектриком и металлом. Из-за наличия диэлектрика питание осуществляется переменным током.

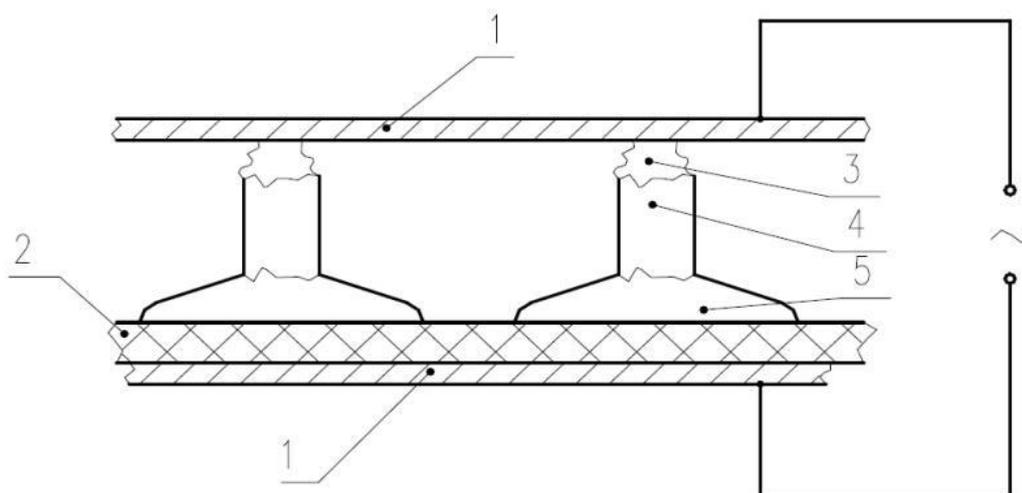


1 - металлический электрод; 2 - зона возможного расположения диэлектрического барьера; 6 - секционированный электрод; 7 - стенка из оргстекла; 8 - вкладыши; 9 - разрядный зазор; 10 - балластная нагрузка

Рисунок 1 - Электромонтажная схема безбарьерного озонатора

Электрический пробой такого газового промежутка при приложении высокого напряжения происходит в виде серий микроразрядов. Длительность одной серии равна десятым долям микросекунды ($0,1 \div 0,2 \text{ мкс}$); длительность отдельного микроразряда ($10 \div 30$) нс, т.е. составляет десятки наносекунд. Время между отдельными сериями зависит от напряжения и длины газового промежутка и примерно на три порядка больше длительности отдельной серии. Отдельные каналы не закреплены в определенных точках, а распределяются случайно (стохастически). Из приведенной структуры барьерного разряда ясно, что источником озона в барьерном разряде являются каналы микроразрядов. В связи с этим встает вопрос: весь ли канал микроразряда является источником озона или какая часть канала является наиболее производительной по озону? Очевидно, что точное представление о производительности различных частей канала микроразряда должно повлиять как на способы и устройства по производству озона, так и на режимы их работы.

Как видно из рисунка 2 канал микрозаряда состоит из трех основных частей: столб канала (4) и две приэлектродные части: (3), прилегающие к металлическому электроду (1) и часть (5), прилегающая к диэлектрическому барьеру (2). Диаметр приэлектродной части (5) в (2÷3) раза больше диаметра других частей канала, а высота ее порядка 0,1÷0,2 мм. Можно предположить, что расширенная часть (5) канала микрозаряда появляется в результате развития скользящего разряда по поверхности диэлектрического барьера.



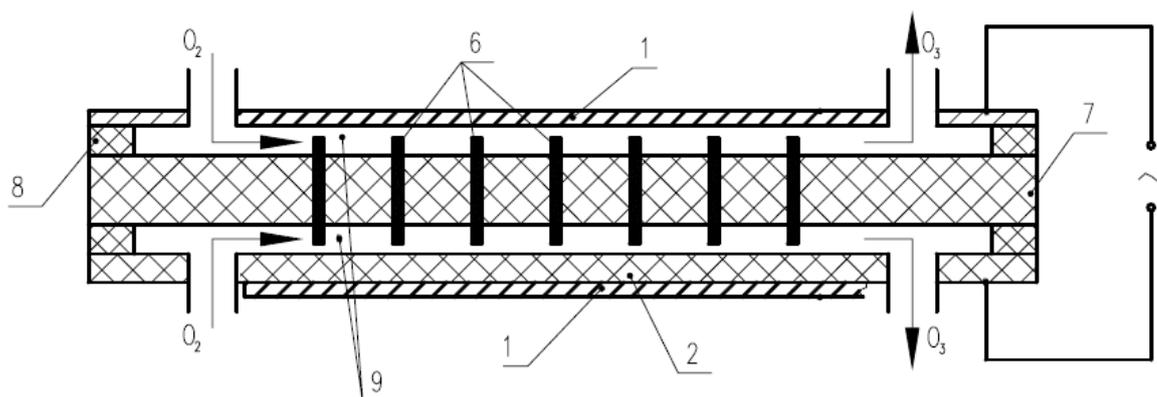
1 - металлический электрод; 2 - зона возможного расположения диэлектрического барьера; 3 - приэлектродная часть канала металлического электрода 1; 4 - столб канала; 5 - приэлектродная часть канала диэлектрического барьера 2.

Рисунок 2 - Геометрия канала микрозаряда

Столб канала (4) играет роль токопровода, с помощью которого подводится потенциал к диэлектрическому барьеру, вызывающий скользящий разряд. Типичные диаметры частей (3) и (4) канала микрозаряда порядка 1 мм, а расширенной части 3 мм, что хорошо согласуется с результатами теоретических исследований, изложенными в работе [3].

Если диаметры частей канала сильно отличаются друг от друга, то плотности тока j различаются еще сильнее. А выделение тепла пропорционально j^2 . Таким образом, температура разных частей канала будет различной. Чем шире часть канала, тем меньше ее температура, что подтверждается результатами теоретических расчетов, изложенными в [4]. Производительность озонаторных установок есть результат одновременных процессов синтеза и разложения озона в озонаторных камерах. Чем выше температура, тем интенсивнее распад озона. Таким образом, различные части канала микрозаряда, отличающиеся по температуре, должны отличаться и по производительности озона. Такие предположения

подтверждаются и выше приведенными экспериментальными результатами по безбарьерному озонатору рисунке 1. Все они показывают, что основным производителем озона является расширенная, прилегающая к барьеру, часть канала микроразряда. Однако, в данных опытах полной аналогии разрядов при наличии барьера и без него добиться практически невозможно. Более убедительным является эксперимент на модели, электромонтажная схема которой представлена на рисунке 3. Экспериментальная модель состоит из двух разрядных камер. Камеры герметичные и разделены друг от друга перегородкой (7), выполненной из оргстекла. В перегородке расположен секционированный вдоль и поперек потоков газа электрод (6). Расстояние между секциями равно 6 мм, что соответствует среднестатистическому расстоянию между каналами микроразрядов классического озонатора. Секция представляет собой тонкий цилиндрический проводник диаметром 1,5 мм. С внешней стороны верхняя камера ограничена только металлическим электродом (1), а нижняя камера электродом (1) и диэлектрическим барьером (2). Рабочий газ, содержащий кислород, поступает в каждую камеру отдельно. Озонсодержащий газ отводится из каждой камеры тоже отдельно. 6



1 - металлические электроды; 2 - диэлектрический барьер; 3 - приэлектродная часть канала металлического электрода 1; 4 - столб канала;

5 - приэлектродная часть канала диэлектрического барьера 2.

6 – секционированный электрод; 7 - перегородка из оргстекла;

8 - вкладыши; 9 - разрядные зазоры

Рисунок 3 - Электромонтажная схема экспериментальной модели

При подаче высоковольтного переменного напряжения на металлические электроды (1) в межэлектродных зазорах зажигаются разряды в верхней и нижней камерах. В нижней камере имеет место барьерный разряд. Здесь канал микроразряда состоит из трех частей в соответствии с рисунке 2 (в каждом канале имеется наиболее

производительная по озону расширенная часть (5), прилежащая к диэлектрическому барьеру). В верхней камере осуществляется разряд между двумя металлическими электродами. Здесь из-за отсутствия диэлектрического барьера отсутствует расширенная часть (5) канала микроразряда. Секционированный электрод 6 в этой модели выполняет роль балансира. Сколько микроразрядов в нижней камере, столько же микроразрядов в верхней. Причем величина тока микроразряда в верхней камере и его зависимость во времени определяются соответствующим микроразрядом нижней камеры. Каждому элементу секционированного электрода (6) одновременно соответствуют два микроразряда: один происходит в нижней камере, а другой в верхней. Таким образом разряд в верхней камере аналогичен разряду в нижней, если не учитывать отсутствие в верхней камере расширенных частей у каналов микроразрядов. В итоге в нижней камере интенсифицируется озон за счет всех частей каналов микроразрядов, а в верхней при отсутствии расширенной части (5).

Сравнивая производительности по озону обеих камер, можно судить о производительности различных частей канала микроразряда. В модели использовался секционированный электрод (6), состоящий из 300 элементов (30 элементов вдоль и 10 поперек потоков газа). Относительно большое количество элементов (300 шт.) необходимо для получения суммарной производительности и соответственно более точного измерения.

Экспериментальные исследования выполнены при действующем значении напряжения $U=15$ кВ для промышленной частоты 50 Гц, одинаковом расходе озонируемого не осушенного воздуха в каждой камере $Q=0,2$ м³/час и одинаковом воздушном зазоре равном $d=2$ мм. Измерения осуществлялись одновременно для обеих камер с помощью озонметров. Показания озонметра: для нижней камеры 7 г/м³, тогда производительность будет 1,4 г/час; для верхней соответственно $< 0,5$ г/м³ и $< 0,1$ г/м³ [5]. Показания для верхней камеры лимитированы чувствительностью озонметра. Затем были проведены исследования с осушенным воздухом, которые подтвердили результаты. А именно: концентрация озона в верхней камере 1,5 г/м³, в камере с барьером до 18 г/м³. За счет осушки воздуха концентрация озона в обеих камерах повысилась примерно в три раза. Как видно из экспериментальных данных в нижней камере, где происходит барьерный разряд, производительность по озону значительно выше, чем в верхней камере. Отсюда следует окончательный вывод: основным производителем озона в барьерном разряде является расширенная часть канала микроразряда, прилежащая к диэлектрическому барьеру. Такой результат подтверждает последние достижения в озонаторной технике. Известно, что наибольшей производительностью обладают озонаторы с минимальным зазором до 0.5 мм. В данном случае величина зазора соизмерима с толщиной наиболее производительной части канала микроразряда и

остальная непроизводительная часть объема сведена к минимуму. В противном случае, газ, пройдя по непроизводительной части объема озонаторной камеры, мало озонируется и разбавляет озон. В итоге концентрация по озону падает. Кроме этого, заметная производительность безбарьерных озонаторов [2] имеет место только при больших расходах озонируемого газа, т.е. при очень низких концентрациях озона. Это объясняется отсутствием в разрядных каналах наиболее производительной по озону расширенной части каналов микроразрядов.

Выводы:

1. Работа высокоресурсных безбарьерных озонаторов возможна только при очень низких концентрациях озона.
2. Для эффективной работы озонаторов необходимо использовать барьерный разряд.
3. Минимальная длина столба канала микроразряда - гарантия надежности и производительности генераторов озона.
4. Экспериментально показано, что наиболее производительной по озону является расширенная часть канала микроразряда, прилегающая к диэлектрическому барьеру.

Литература:

1. Самойлович В.Г., Гибалов В.И., Козлов К.В. // Физическая химия барьерного разряда. М., 1989.
2. В.В. Лунин, М.П. Попович, С.Н. Ткаченко. // Физическая химия озона. М., 1998.
3. Пичугин Ю.П. // Материалы 25-го Всероссийского семинара "Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии". Москва, 2003, с.36-47.
4. Боканова А.А., Бахтаев Ш.А., Кожаспаев Н.К. Новые процессы и аппараты озонной технологии // III Межд. научно-техническая конференция «Энергетика, телекоммуникации и ВО в современных условиях». – Алматы: АИЭС. –2002. –С.187-189.
5. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Методические рекомендации по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды от загрязнений природного и антропогенного происхождения. Госстрой, АО НИКВОВ, М:1995, стр.17-21