

УДК 553/521 (575.2) (04)

РАЗРЯДНАЯ ЯЧЕЙКА НОВОГО ТИПА ДЛЯ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

А.А. Гречухин - инженер

The new way of a feed of a discharge cell for synthesis of ozone in the barrier discharge is considered. Association of a discharge cell and the high-voltage transformer allows to reduce capital expenses for creation of the generator of ozone. Specific power inputs on synthesis of ozone make 20 kWt*h/kg.

Введение. Барьерный разряд в кислороде, в атмосферном воздухе и в бинарных смесях кислорода и азота известен уже на протяжении столетия, главным образом как эффективный плазмохимический реактор для синтеза озона. Все другие известные методы (термический, фотохимический, электрохимический и другие виды электрических разрядов) экономически менее выгодны [1]. Первый плазмохимический реактор на основе барьерного разряда был предложен Сименсом в 1857 г. [2]. Современные озонаторные установки в значительной степени отличаются от конструкции Сименса, однако основной принцип неизменен. Он заключается в том, что обязательным образом в конструкции имеется диэлектрический слой – барьер, который стабилизирует разрядный ток и придает разряду специфический характер.

В классическом случае барьерный разряд возникает между двумя плоскими электродами, к внутренней стороне одного из них или обоих прикреплен диэлектрический материал, который должен иметь достаточно большое удельное сопротивление и диэлектрическую проницаемость [3].

Для реализации барьерного разряда применяют основные схемы конфигураций электродов (рис. 1). Разряд горит между диэлектриком и электродом или между двумя диэлектриками.

По форме электродов различают трубчатые и пластинчатые установки. Наиболее широко применяются трубчатые озонаторы, так как в них удается избежать краевых эффектов.

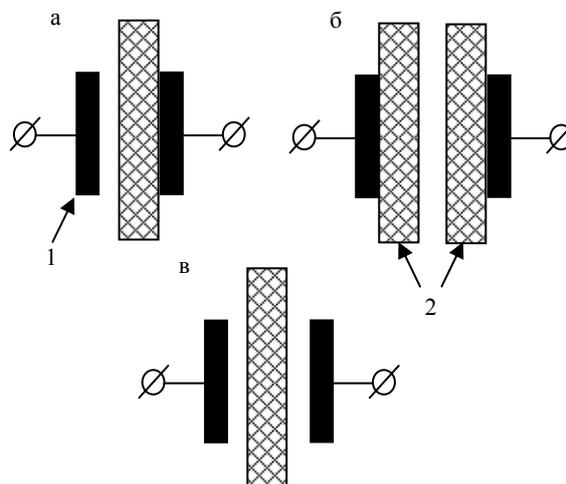


Рис. 1. Основные схемы конфигураций электродов для получения классического барьерного разряда. 1 – электроды, 2 – диэлектрик.

В большинстве случаев в качестве диэлектрических барьеров используют обычное или борно-силикатное стекло [4]. Однако из-за плохих конструктивных особенностей материала использование стеклянных барьеров не практично в промышленных установках, поэтому стеклянные барьеры не получили распространения и заменяются другими материалами. Перспективным считается применение в качестве барьеров керамики и эмалей [5–7].

Технология синтеза озона включает в себя следующие основные элементы:

Систему подготовки плазмообразующего газа, содержащую блок компрессирования воздуха или кислорода, устройства очистки газа от пыли, систему охлаждения и осушки кислородсодержащего газа.

Высоковольтный (5–20 кВ) источник питания переменного тока, представляющий собой в большинстве случаев повышающий трансформатор или специальный высокочастотный преобразователь, в конструкции которого также предусмотрен высоковольтный трансформатор.

Разрядный узел (по схеме рис. 1), включающий диэлектрические барьеры и токоподводящие электроды.

Таким образом, современные озонаторы на барьерном разряде отличаются сложностью изготовления и, как следствие, высокой стоимостью, поэтому широкое внедрение озона в промышленные технологии ограничено. Поиск новых технологий синтеза озона, отличающихся низкой стоимостью организации процесса и малыми энергозатратами на синтез конечного продукта, является актуальной задачей.

Поэтому целью данной работы являлась разработка нового способа питания разрядной ячейки для синтеза озона в барьерном разряде, позволяющего значительно сократить капитальные затраты на создание озонаторной установки при сохранении удельных энергозатрат на синтез озона на низком уровне.

Конструкция озонатора. Традиционная технология синтеза озона основана на взаимодействии двух элементов: высоковольтного трансформатора и разрядной ячейки. Стандартный высоковольтный трансформатор представляет собой конструкцию, состоящую из ферромагнитного сердечника, на который намотаны слои первичной и вторичной обмоток. Слои разделены изоляцией для предотвращения электрического пробоя между обмотками. Вторичная обмотка трансформатора подсоединяется к разрядной ячейке. При протекании переменного тока в первичной обмотке, во вторичной индуцируется напряжение, величина которого определяется коэффициентом трансформации. Высокое напряжение с вторичной обмотки подается на разрядную ячейку. Между диэлектрическими барьерами в ячейке загорается разряд. При пропускании

воздуха через ячейку на выходе получаем озono-воздушную смесь.

Предлагаемый способ синтеза озона объединяет разрядную ячейку и высоковольтный трансформатор в одну конструкцию (рис. 2). Конструкция озонатора состоит из трех вставленных друг в друга параллелепипедов, склеенных из стеклянных пластин. Внутри первого параллелепипеда находится ферритовый сердечник с намотанной на него первичной обмоткой. На внешних поверхностях первого и третьего параллелепипедов намотаны первый и второй слои вторичной обмотки. Между вторым и третьим параллелепипедом организован зазор размером 1 мм.

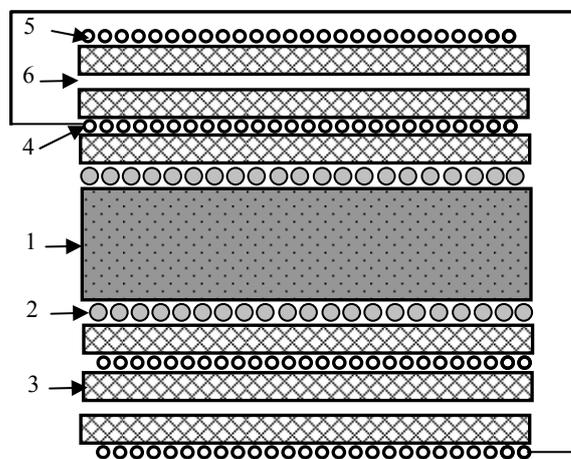


Рис. 2. Разрядная ячейка:

- 1 – ферромагнитный сердечник; 2 – первичная обмотка; 3 – стеклянные пластины;
- 4 – 1-й слой вторичной обмотки;
- 5 – 2-й слой вторичной обмотки;
- 6 – газовый промежуток.

Данная технология синтеза озона имеет следующие существенные отличия от традиционной:

1. Трансформатор и разрядная ячейка не разнесены в пространстве, а представляют единое целое.
2. Межслойная изоляция вторичной высоковольтной обмотки играет роль диэлектрического барьера в разрядной ячейке.
3. Конструктивно в межслойной изоляции, выполненной в виде параллельных стеклянных пластин, предусматривается газовый зазор для ввода кислорода или воздуха.

4. Конец первого слоя вторичной обмотки трансформатора соединен с началом второго слоя.
5. Подобная конструкция позволяет равномерно приложить к воздушному зазору напряжение, равное половине напряжения всей вторичной обмотки. В данной конструкции оно составляет 12 кВ, полное 24 кВ. Продувая кислород через межслойный зазор, на выходе получаем озono-кислородную смесь.

Анализ работы данной разрядной ячейки показывает, что в электрический контур озонатора, обладающего активно-емкостным сопротивлением, внесена индуктивность вторичной обмотки трансформатора, вызывающая уменьшение результирующего реактивного сопротивления контура подобно тому, как это происходит при резонансе напряжений в последовательной R, L, C электрической цепи. Снижение общего реактивного сопротивления контура приводит к увеличению тока в цепи и увеличению активной мощности разрядного промежутка, что, в свою очередь, приводит к увеличению производительности озонатора и снижению энергозатрат на синтез озона.

Аналогичные результаты достигаются в озонаторе, содержащем высоковольтный источник питания и индуктор, выполненный в виде металлических пластин, разделенных диэлектрическими пластинами и щелевым разрядным промежутком, где одна из металлических пластин выполнена в виде последова-

тельно соединенных между собой плоских спиралей толщиной 0,1–0,3 мм [8].

Источник питания. Для питания озонатора используется тиристорный однотактный генератор (рис. 3). Переменное напряжение с вторичной обмотки трансформатора Т1 выпрямляется диодным мостом Д1, конденсатор С1 сглаживает пульсации переменного напряжения до требуемого уровня. Этим напряжением конденсатор С3 резонансно заряжается через дроссель L1 до удвоенного напряжения питания. При отпирании тиристора V2 управляющим импульсом от генератора, собранного на однопереходном транзисторе V1, конденсатор С3 разряжается через первичную обмотку разрядной ячейки и тиристор, в этот момент во вторичной обмотке индуцируется высокое напряжение и в разрядной ячейке зажигается барьерный разряд. Индуктивность первичной обмотки и ёмкость конденсатора С3 выбираются такими, чтобы разряд конденсатора имел колебательный характер. Через четверть периода собственных колебаний конденсатор С3 разрядится и тиристор V1 закроется. После закрытия тиристора конденсатор С3 вновь резонансно заряжается через дроссель L1 до удвоенного напряжения питания, на тиристор V2 снова подается включающий импульс и цикл повторяется. Частота работы тиристорного генератора изменяется переменным резистором R1, диапазон изменения частоты – от 100 до 500 Гц: соответственно меняется и мощность, отдаваемая в разрядную ячейку.

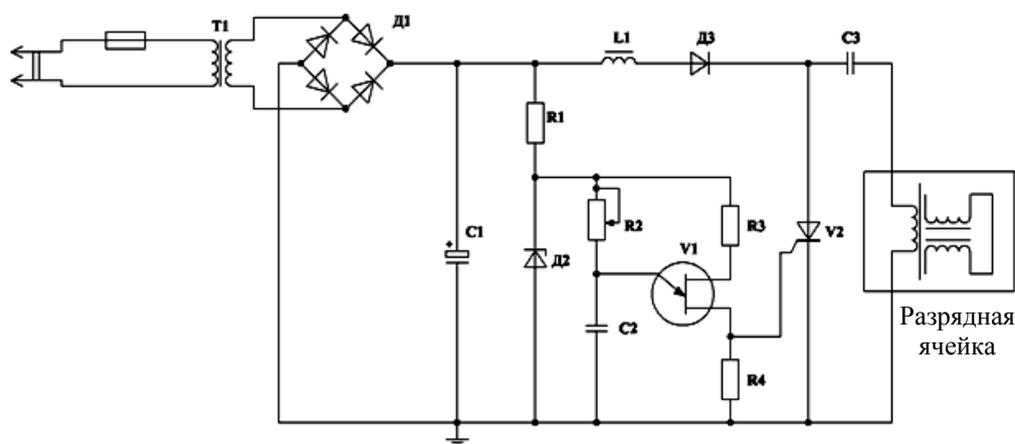


Рис. 3. Схема источника питания озонатора.

Синтез озона. Для изучения особенностей генерации озона использовался медицинский кислород, предварительно осушенный силикагелем до точки росы -40°C . Путем измерения электрической мощности разряда, расхода кислорода через разрядную ячейку и концентрации получаемого озона определялись удельные энергозатраты на синтез озона в данной технологии.

Из зависимости концентрации озона на выходе разрядной ячейки от мощности (рис. 4) следует, что при мощности разряда 140 Вт наблюдается максимальная концентрация озона 110 г/м^3 , дальнейшее увеличение мощности приводит к быстрому уменьшению концентрации озона до 60 г/м^3 , что обусловлено перегревом кислорода в разрядной ячейке и термическим разложением озона.

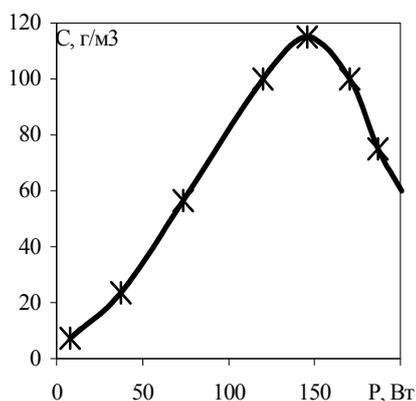


Рис. 4. Зависимость концентрации озона от потребляемой мощности.

Зависимость производительности озонатора от мощности (рис. 5) имеет немонотонный характер, с ярко выраженным максимумом, приходящимся на ту же мощность. Максимальная производительность составляет 7 г озона в час.

Удельные энергозатраты на синтез озона являются одной из основных характеристик технологии. Современные озонаторы в зависимости от концентрации получаемого озона потребляют 5–30 кВт*час на килограмм озона. Причем большая мощность соответствует концентрациям $100\text{--}200 \text{ г/м}^3$. Исследования показали, что зависимость удельных энергозатрат от мощности разряда (рис. 6) находится на уровне 20 кВт*час/кг в широком диапазоне изменения мощности разряда. Это позволяет получать озон в интервале концентраций $10\text{--}20 \text{ г/м}^3$ при минимальных энергозатратах.

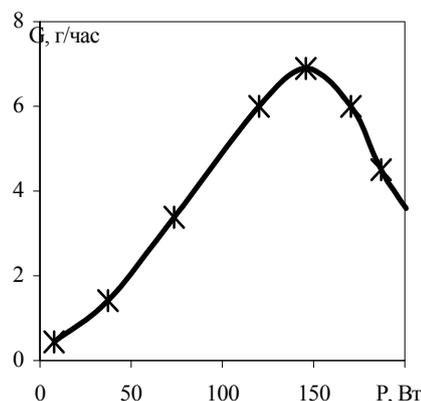


Рис. 5. Зависимость производительности озонатора от потребляемой мощности.

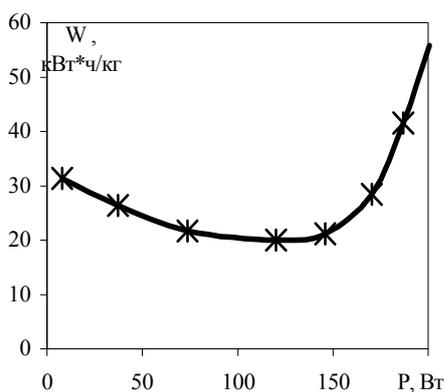


Рис. 6. Зависимость удельных энергозатрат на синтез озона от мощности разряда.

Уменьшение энергозатрат при увеличении мощности разряда с 10 до 100 Вт определяется изменением полного сопротивления разрядной ячейки, включающего реактивную составляющую (емкость диэлектрических барьеров) и активную (омическое сопротивление разрядного промежутка). При развитии разряда доля реактивной составляющей мощности изменяется не значительно, а активные потери (которые и определяют синтез озона) в плазме возрастают и как следствие, уменьшаются энергозатраты. Рост энергозатрат при мощности разряда более 150 Вт обусловлен несовершенством теплообмена разрядной ячейки, в результате чего обратимая реакция образования озона за счет термического разрушения последнего смещается влево и энергозатраты увеличиваются синхронно с уменьшением концентрации озона (рис. 5).

Выводы

1. Разработан способ синтеза озона, объединяющий в одну конструкцию разрядную ячейку и высоковольтный трансформатор.

2. Разработанная технология синтеза озона позволяет значительно сократить капитальные затраты на создание озонаторных установок.

3. Показатели синтеза озона в данной конструкции озонатора соответствуют принятым нормам в озонаторостроении:

а) удельные энергозатраты на синтез озона составляют в среднем 20 кВт*ч/кг;

б) максимальные концентрации озона, вырабатываемые озонатором, составляют 110 г/м³.

4. Дальнейшее усовершенствование разработанной технологии (организация охлаждения разрядной ячейки, реализация в трансформаторе замкнутого магнитопровода и переход на более высокие частоты питающего напряжения) позволит создавать генераторы озона с широким диапазоном производительности и концентрации.

Литература

1. Лукин В.В., Попович М.П., Ткаченко С.Н. Физическая химия озона. – М.: МГУ, 1998. – 480 с.
2. Siemens // Pogg. Ann.– 1857.– Vol. 102.– P.66.
3. Филиппов Ю.В., Вобликова В.А., Пантелеев В.И. Электросинтез озона. – М.: МГУ, 1987. – 236 с.
4. Frolich E. // Ztschr. Elektrochem. – 1891. – Bd. 12. – P. 340.
5. Козобоев В.И., Семиохин А.А., Пицхелаурин Е.Н. Кинетика и катализ. – 1960. – Т. 8. – С. 81.
6. Артамонов В.Г., Баранов С.С., Семенов В.И. и др. Тез. докл. II всесоюзн. конф. по озону. – М., 1978. – С. 68.
7. Танабэ Х. Пат. 53-799112 (Япония), 1978.
8. Стрижков И. Г., Разнован О.Н. Пат. 2301773 (Россия), 2007.