

УДК 697.947

Коновалов С. А.
(НИПКИ «Параметр» ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, ks2258@yandex.ru)

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОЗОНА

В работе дан краткий исторический обзор развития технологии получения и применения озона. Описан механизм и условия получения озона под действием барьерного электрического разряда. Представлены особенности конструкции и характеристики озонаторов, а также некоторые аспекты технологии получения озона в озонаторах. Кратко обозначены перспективы разработки новых методов получения и применения озона.

Ключевые слова: озон, озонаторы, барьерный разряд, разрядник, диэлектрический слой, повышающий трансформатор, концентрация озона, конструкции озонаторов.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Ни для кого не секрет, что мы живём в мире, загрязнённом техногенными и бытовыми отходами — продуктами нашей человеческой жизнедеятельности. Как защитить себя от негативного воздействия вредных и опасных веществ, засоривших окружающую среду, или максимально снизить их воздействие на человеческий организм?

Известно, что природа — это самоочищающаяся и самовосстанавливающаяся система, у которой предусмотрен механизм, позволяющий выжить в неблагоприятных условиях и/или перевести эти неблагоприятные условия в разряд благоприятных. Сама природа для решения этого вопроса даёт нам эффективную и экономичную экологически чистую технологию, основанную на использовании озона — озонирование.

Озон (O_3) — один из самых мощных природных окислителей, единственное химическое вещество, способное восстанавливать чистоту воздуха.

По своей реакционной способности O_3 занимает второе место после фтора и значительно превосходит другие окислители.

Озон подавляет вирусы, частично разрушая их оболочку. При воздействии озона на микроорганизмы локально повреждается их клеточная мембрана, что приводит к гибели или невозможности к размножению. Установлено, что газообраз-

ный озон убивает практически все виды бактерий, вирусов, плесневых и дрожжеподобных грибов и простейших. При его концентрации от 1 до 5 мг/м³ в течение 20 минут приводит к гибели 99,9 % стафилококков, стрептококков, мукобактерий, кишечной и синегнойной палочек, протеев, клебсиеллы, сальмонеллы, возбудителей дизентерии и других.

Природная концентрация O_3 в атмосферном воздухе составляет от 0,002 до 0,02 мг/м³ и рассматривается, как показатель чистоты и свежести.

Озон был открыт в 1785 году голландским ученым Мак Ван Марумом. Сразу было отмечено главное свойство O_3 — очень высокая окислительная способность, гораздо выше, чем у кислорода. Поэтому озон стали использовать для борьбы с микроорганизмами [1].

В 1832 году профессор Базельского университета Кристиан Фридрих Шонбейн подробно исследовал способы получения озона и дал название этому газу — «озон» (от греческого слова «пахнущий»).

В 1881 году доктор Келлог (Kellogg) рекомендовал использовать озон для дезинфекции. Но настоящая революция в использовании озона для стерилизации произошла после патентования и начала массового производства генераторов озона.

До середины XIX века попытки создания таких генераторов были безуспешными.

Считается, что первый медицинский образец генератора создан в 1857 году В. Сименсом (создатель компании Siemens), тогда же проведены и первые бактериологические испытания воздействия озона на патогенную бактериальную и грибковую флору. Однако понадобилось еще 29 лет для того, чтобы запатентовать промышленный генератор озона. Патент на изобретение принадлежит Николе Тесле (Nikola Tesla).

В 1900 году после патентования было начато массовое производство генераторов O_3 , которые являются предшественниками современных озонаторов.

В 1957 году И. Ханслер (Германия) представил медицинский озоновый генератор (фирма «Озоносан»), вырабатывающий O_3 при подаче кислорода с помощью кислородного баллона. С этих пор начинается развиваться несколько направлений по применению озона в дезинфекции, стерилизации и лечении.

Первые сведения об использовании O_3 в обработке колотых и огнестрельных ран зафиксированы в период Первой мировой войны.

В 1935 году профессор Эрвин Пастер (Австрия) опубликовал работу «Лечение озонем в хирургии». К. А. Фиш описал свой опыт применения O_3 в стоматологической практике. В Германии перед Второй мировой войной появилось много медицинских клиник по озонотерапии.

Озоновые технологии применяются в медицине уже более 150 лет и по всему миру зарегистрировано не менее ста тысяч врачей, использующих O_3 в качестве лечебного средства.

В 1950–1990 гг. в СССР проводились исследования и технические разработки по созданию озонаторов и озоновых технологий. Однако, с появлением антибиотических лекарственных средств озонотерапия была несправедливо вытеснена из медицинской практики на 60–70 лет. Это произошло из-за отсутствия озоноустойчивых материалов, а также из-за громоздкости озоновых генераторов того поколения.

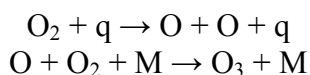
Сегодня озоновая технология и природный дезинфектант O_3 требуют дополнительного анализа возможностей, разработки новых методов применения, оценки реальных перспектив озоновых технологий в медицинской практике, в пищевой промышленности, в быту и т. д.

Не следует забывать, что озон является ядовитым газом [2].

Однако это актуально только при больших концентрациях. Согласно ГОСТ 12.1.007-76 предельно-допустимая разовая концентрация (ПДК) озона в воздухе — $0,16 \text{ мг/м}^3$, а средняя суточная не должна превышать $0,03 \text{ мг/м}^3$ [3]. Значит, в небольшом количестве озон не представляет опасности для человека. Порог ощущения характерного запаха озона органами обоняния человека составляет $0,004\text{--}0,015 \text{ мг/м}^3$, что в 10 раз ниже ПДК. Поэтому ощущение запаха озона человеком полностью безопасно. Кроме того, концентрация озона самопроизвольно очень быстро снижается в результате реакций окисления. Поэтому, соблюдая простые правила техники безопасности при работе с озоном, можно эффективно использовать его без вреда для человека.

Итак, **целью** данной работы является изучение способов получения и применения озона. **Объект исследования** — устройства для получения озона (озонаторы). **Предмет исследования** — процесс получения озона в озонаторах.

Изложение материала. Наиболее экономически целесообразным способом получения озона для промышленного использования является его синтез в электрических разрядах из кислорода или кислородосодержащих смесей газов. Озон синтезируется в среде, содержащей кислород, если возникнут условия, при которых образуется атомарный кислород или молекулярный кислород диссоциирует на атомы. То есть при получении озона в газовой среде основным является диссоциативный механизм его синтеза. Условно группа реакций, приводящая к синтезу озона по диссоциативному механизму, следующая:



где q — частица высокой энергии (электрон, фотон, возбужденный атом и т. д.); M — любая частица, например, атом или молекула кислорода, молекула озона, атом или молекула примеси.

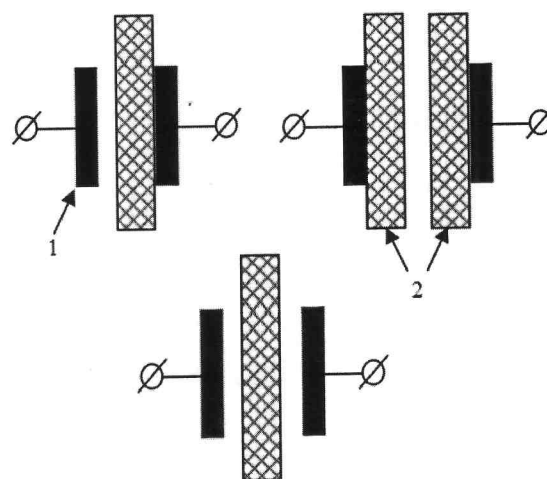
Вообще синтез озона — процесс эндотермический. Для его осуществления требуются затраты внешней энергии, которая расходуется в том числе на диссоциацию кислорода.

Образование озона возможно во всех известных формах электрического разряда в среде, содержащей кислород. При этом диссоциация молекул кислорода в разрядах в газовой среде в основном осуществляется за счет столкновения молекул с ускоренными в электрическом поле электронами (диссоциация электронным ударом).

Наиболее экономичным для электросинтеза озона с точки зрения затрат энергии считаются барьерные (тихие) разряды в потоке газа, содержащего кислород [4]. В промышленных генераторах озона, как правило, реализуется барьерный разряд в объеме.

Под барьерным разрядом понимают разряд, возникающий в газе в разрядном промежутке между электродами, под действием приложенного к ним напряжения, при этом хотя бы один из электродов должен быть покрыт слоем диэлектрика (барьером) [5].

На рисунке 1 показаны схемы конфигурации электродов для получения барьерного разряда [6]. Разряд происходит в промежутке между диэлектриком и электродом или между двумя диэлектриками. Поскольку электроды и диэлектрики обычно представляют собой плоские поверхности, разряд в промежутке между ними является объемным. Молекулы кислорода, находящиеся в области (в объеме) разряда под воздействием ускоренных в электрическом поле электронов распадаются на атомарный кислород с дальнейшим образованием озона.



1 — электроды; 2 — диэлектрик

Рисунок 1 Основные схемы конфигураций электродов для получения барьерного разряда

Диэлектрический слой ограничивает ток разряда и придает барьерному разряду в разрядном газовом промежутке равномерный характер. Наличие диэлектрического слоя играет важную роль в процессе электросинтеза озона, и его свойства определяют в целом качество, надежность и производительность генератора. Наличие диэлектрического слоя также обуславливает применение для питания генератора озона источника переменного или импульсного напряжения.

При синтезе озона в промышленных условиях применяют генераторы с разрядными промежутками 0,1–4 мм, диэлектрическими слоями толщиной 0,2–3 мм с относительной диэлектрической проницаемостью 5–50 Ф/м. В качестве материалов для диэлектрических слоев наиболее часто используются различные типы стекол, реже керамики, слоистых пластиков и пластмасс. Материалами для электродов служат нержавеющая сталь, алюминий или титан и их сплавы. Напряжение электропитания генераторов озона составляет 1–30 кВ, и обеспечивается применением согласующих повышающих трансформаторов. Рабочие частоты генераторов озона находятся в диапазоне, в котором пробивное напряжение практически не зависит от час-

тоты, и составляют 0,05–20 кг/ц. Барьерный разряд осуществляется в потоке протекающего через разрядный промежуток газа при относительно невысоких давлениях и сравнительно низких скоростях.

Рассматривая конструкции генераторов озона с барьерным разрядом, можно отметить, что они представляют собой электрический прибор, конструктивно подобранный многослойному конденсатору, имеющему два или более промежутка между электродами, состоящими из слоя диэлектрика (барьера) и газоразрядного слоя. Форма и расположение электродов при этом могут быть различными и не оказывают существенного влияния на концентрацию озона. Специфика конструкций озонаторов в целом заключается также в применении в них материалов, стойких к процессам окисления, таких как нержавеющая сталь, стекло, пластмассы, слоистые пластики и т. д., а токоведущие части должны быть тщательно изолированы от воздействия озона.

Кроме конструкции на синтез озона оказывают существенное влияние внешние факторы, такие как температура, влажность, уровень загрязнения газовой смеси. Так, влияние температуры на кинетику разряда в воздухе проявляется достаточно четко — повышение температуры приводит к снижению концентрации озона в газоразрядном промежутке [4]. Появление влаги или загрязняющих примесей в воздухе также приводит к снижению концентрации озона.

Работниками НИЛ ПТЭ и ЭС НИПКИ «Параметр» ДонГТИ были разработаны несколько типов озонаторов различных мощностей (100–250 Вт) и, соответственно, производительности (рис. 2 и 3). Для синтеза озона в них использован разрядник, где в качестве диэлектрика применялось стекло, а электроды выполнены из алюминиевой фольги.

Высокое напряжение импульсного типа (15 кВ), подаваемое на разрядник через повышающий трансформатор, обеспечи-

вало формирование барьерного разряда в промежутках между электродами разрядника. Воздух, нагнетаемый вентилятором, проходит через разрядник, где под действием барьерного разряда из кислорода синтезируется озон. Установка времени включения и отключения озонатора осуществляется от переключателя — программируемого таймера, который позволяет автоматически включать и отключать озонатор в любое время в течение суток или недели по заданной программе.

Наиболее слабым местом электрической части озонатора является повышающий трансформатор, который в процессе работы подвергается воздействию высокого напряжения, иногда в комплексе с загрязненным воздухом или озоном, что нередко может приводить к электрическому пробое и выходу из строя трансформатора.



Рисунок 2 Озонатор «Шторм 911»

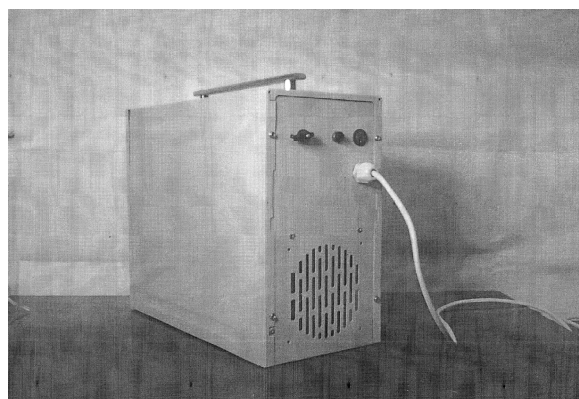


Рисунок 3 Озонатор «Озон 6»

В озонаторах «Шторм 911» и «Озон 6» применена разработанная нами оригинальная конструкция повышающего трансформатора, который имеет удлиненный сердечник, что позволило равномерно распределить обмотку высокого напряжения, выполнив ее в один слой, тем самым максимально пространственно удалив друг от друга начало и конец обмотки, то есть точки, между которыми формируется наибольшая разность потенциалов. Такой трансформатор продемонстрировал очень высокую надежность на протяжении нескольких лет эксплуатации.

Наши озонаторы применяются в мясоперерабатывающей промышленности Луганского региона. В частности, они широко и успешно использовались для борьбы с плесенью в камерах, где производилась сушка сыровяленых и сырокопченых колбас, а также для дезинфекции помещений для производства и хранения мясной продукции.

Кроме того, наши озонаторы успешно применялись в так называемых сушках-

озонаторах — оборудовании, предназначенном для сушки и дезинфекции рабочей обуви на предприятиях пищевой промышленности.

Выводы и направление дальнейших исследований. Несомненные достоинства применения озона для дезинфекции воздуха, воды, продуктов питания, различных поверхностей и предметов, дезодорации воздуха, его экологическая чистота обуславливают актуальность и широкие перспективы применения озона и озонаторов в промышленности и в быту.

Разработка новых методов применения озона в различных областях жизнедеятельности человека требует также разработки и совершенствования приборов для его производства — озонаторов. Поэтому дальнейшая работа над совершенствованием технологий производства озона, конструкций озонаторов для различных областей применения может быть одним из важных и перспективных направлений деятельности НИПКИ «Параметр» ДонГТИ.

Библиографический список

1. История озона [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://orion-si.ru/stati/istoriya-ozona.html>.
2. Об озоне, озонаторе и не только [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://alkor-climat.by/novosti/ozonirovanie-cto-eto-takoe>.
3. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений [Электронный ресурс] : ГН 2.1.6.3492-17 : [утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 22.12.2017 г. № 165]. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/556185926>.
4. Силкин, Е. М. Синтез озона в электрических разрядах и повышение его эффективности [Текст] / Е. М. Силкин // Компоненты и технологии. — 2008. — № 6. — С. 136–143.
5. Самойлович, В. Г. Физическая химия барьерного разряда [Текст] : монография / В. Г. Самойлович, В. И. Гибалов, К. В. Козлов. — М. : Изд-во МГУ, 1989. — 176 с. — (Классический университет).
6. Гречухин, А. А. Разрядная ячейка нового типа для барьерного разряда [Текст] / А. А. Гречухин // Вестник КРСУ. — 2008. — Т. 8. — № 10. — С. 111–115.

© Коновалов С. А.

Рекомендована к печати директором ООО «Инвертор» Заведия В. С.,
директором НИПКИ «Параметр» ДонГТИ Саратовским Р. Н.

Статья поступила в редакцию 28.02.2023.

Konovalov S. A. (SRPDI "Parameter" DonSTI, Alchevsk, LPR, ks2258@yandex.ru)

TECHNOLOGICAL FEATURES AND MODERN DEVICES FOR PRODUCING OZONE

The paper gives a brief historical overview of technological development in production and use of ozone. The mechanism and conditions for producing ozone under the action of a barrier electric discharge have been described. The design features and characteristics of ozonizers, as well as some aspects of the technology for producing ozone in ozonizers, have been presented. The prospects for the development of new methods for the production and use of ozone have been outlined in brief.

Key words: ozone, ozonizers, barrier discharge, arrester, dielectric layer, step-up transformer, ozone concentration, ozonator designs.