

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ФГУП
«РФЯЦ ВНИИТФ» академика Забабахина
- начальник ВНИЦ

А. И. Соколов

06» сентября 2019 года

ОТЗЫВ

Ведущей организации о научно-практической ценности диссертации

Матюнина Алексея Николаевича

на тему **« Исследование систем генерации озона в барьерном разряде с
высокоомными электродами»**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности: 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»

1. Актуальность избранной темы.

Диссертационная работа А.Н. Матюнина посвящена вопросам повышения эффективности электросинтеза озона из неосушенного воздуха в аппаратах с барьерным разрядом, не снабженных системой жидкостного охлаждения разрядного блока. Подобные аппараты находят применение в малоозонемких технологиях, таких как дезинфекция воды плавательных бассейнов, дезинфекция небольших объемов сточных вод хозяйственно-бытового происхождения, воздуха овощехранилищ и т.п.

Фактором, ограничивающим сферу и масштабы использования озона, как мощного и экологически чистого окислителя, является технологическая сложность изготовления основного элемента генератора озона с барьерным разрядом – электрода с диэлектрическим покрытием, стойким к воздействию электрического разряда и озона. В связи с этим наряду с высокоэффективными генераторами озона, создаваемыми на основе высоких технологий, получают распространение аппараты максимально простые по устройству, дешевые в производстве и зачастую лишенные эффективной системы охлаждения разрядного блока. Они успешно применяются в малоозонемких технологиях, для которых энергозатраты на производство озона имеют второстепенное значение.

2. Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства

Создание простых в изготовлении и недорогих генераторов озона способствует развитию технологий, основанных на использовании уникальных свойств озона, и направлено на решение разнообразных практических задач в области экологии. Работа

А.Н. Матюнина посвящена улучшению характеристик подобных генераторов озона и направлена на расширение их внедрения в народное хозяйство.

3. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Предложенное диссертантом решение о замене высокопроводящих металлических электродов в генераторе озона с барьерным разрядом на высокоомные, выполненные в виде пленки из смеси частиц графита и сажи на кремнийорганическом связующем, **является новым**. Новизна технических решений, полученных в диссертации, подтверждена патентами РФ. Показано, что использование высокоомных электродов позволяет увеличить концентрацию получаемого озона в озонаторе с воздушным охлаждением, несмотря на увеличение омических потерь в цепи питания разряда. Эффект достигается за счет ограничения тепловыделения в микроразрядах и обусловленного им уменьшения термических потерь озона. Для генераторов озона с барьерным разрядом, не снабженных системой жидкостного охлаждения, это решение является эффективным, однако в промышленных озонаторах, снабженных системой жидкостного охлаждения и обеспечивающих более высокий энергетический выход озона, введение дополнительных потерь в цепь питания разряда не практикуется и в научной печати не рассматривается.

Диссертантом разработаны математические модели барьерного разряда в озонаторах с высокоомными электродами, основанные на присвоении структурным элементам разряда постоянных значений удельной электрической емкости, омического сопротивления и индуктивности, что позволяет рассчитывать поведение разряда в пространстве и времени с помощью теории электрических цепей. Подход к описанию микроразряда в терминах электротехники **отвечает критерию новизны**. В приведенном в диссертации примере расчета длины пробега разряда по поверхности диэлектрического барьера, времени нарастания и времени затухания тока получены значения, близкие к известным из экспериментальных работ других авторов (однако, максимальный ток микроразряда вычислен на основе постулированного значения его поверхностного сопротивления). В диссертации получен ряд расчетных формул для вычисления отдельных характеристик микроразряда, однако для них не определены области допустимых значений входящих в них параметров, что затрудняет их использование. Общее выражение, дающее связь между временем нарастания тока микроразряда и величиной напряжения источника питания предсказывает рост длительности фронта тока, пропорциональный квадрату приложенного напряжения, что противоречит данным наблюдений. Расчетная длина пробега разряда по поверхности диэлектрика оказывается

не зависящей от его толщины и диэлектрической проницаемости, а средний ток озонатора при нулевой толщине газового промежутка и конечной толщине диэлектрического барьера обращается в бесконечность. Условия применимости предложенных в диссертации моделей разряда должны быть четко определены.

В созданной диссертантом экспериментальной установке для изучения микроразрядов зарегистрированы импульсы тока микроразряда в атмосферном воздухе, *амплитуда и длительность* которых близки к полученным в работах других авторов. При проведении исследований применен осциллограф типа С8-12. Данный осциллограф с наиболее скоростным входным блоком 1У11 имеет полосу частот 50 МГц, что позволяет измерить длительность микроразряда в воздухе, но не позволяет корректно измерить фронт импульса тока микроразряда, который по известным литературным данным не превышает 3 нс для миллиметрового разрядного промежутка в воздухе. Разряд создавался между торцом цилиндрического алюминиевого электрода диаметром 2 мм и плоским электродом, покрытым диэлектриком. Необходимо заметить, что при столь малой величине диаметра электрода на характеристики импульса тока микроразряда оказывают сильное влияние параметры электрической цепи установки вследствие того, что энергия, запасенная в емкости электродной системы установки, на несколько порядков меньше той, которая определяет амплитудно-временные характеристики импульса тока микроразряда в реальных озонаторах. Это необходимо учитывать при трактовке наблюдаемых изменений характера протекания тока в цепи, связанных с включением последовательно с разрядом индуктивности, емкости и активного сопротивления. В частности, появление колебаний в токе микроразряда следует связывать не с изменением свойств микроразряда, а со свойствами разрядного контура и измерительной цепи. То же относится к влиянию сопротивления зарядной цепи на время нарастания и амплитуду импульса тока.

Предложенная диссертантом модель позволяет рассчитать потери энергии в разряде по поверхности диэлектрика, как существенной части микроразряда с точки зрения получения озона. Однако сопоставить полученные расчетом значения, с данными экспериментов, в которых энерговыделение в канале микроразряда и связанном с ним разряде по поверхности диэлектрика были бы измерены отдельно, не представляется возможным ввиду отсутствия таких данных в литературе. Сделанный автором вывод о том, что при расстоянии между токоподводами к высокоомному электроду в 1 см эффективная работа озонатора возможна при значениях частоты питающего напряжения до 3 МГц представляется ошибочным, т.к. уже при частотах на 2 порядка меньших, плазма разряда термализуется и практически весь образованный озон будет распадаться.

4. Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов.

Значимость для науки. Многообразие и сложность процессов, происходящих в барьерном разряде, порождают стремление отыскать способ описания разряда в озонаторе, не связанный с рассмотрением элементарных процессов и расчетом электронной кинетики. Диссертант продемонстрировал возможность использования представлений электротехники для описания разряда в озонаторе как элемента электрической цепи (способность микроразряда производить озон модель не отражает). При определенном выборе удельных электротехнических параметров разряда и параметров внешней цепи расчет по разработанной диссертантом модели дает близкие к наблюдаемым значения времени развития разряда, диаметра приборьерной области, длительность и амплитуду импульса. В диссертации приведено значительное число расчетных формул для вычисления характеристик микроразряда, однако применение развитых автором представлений в практике разработки генераторов озона требует обоснованного определения области допустимых значений для каждого параметра, используемого в расчетных формулах.

Значимость для практики. Разработана технология изготовления разрядных камер для генерации озона в барьерном разряде с высокоомными электродами на основе смеси порошков графита и сажи. Разработаны, изготовлены и внедрены в эксплуатацию системы генерации озона с высокоомными электродами для озонаторных комплексов. Представленные в диссертации разработки использованы при создании озонаторных комплексов, используемых в организациях ООО «Компас» г. Пермь, «Завод «Заряд» г. Гай Оренбургской обл., ООО «ЭКОФОН» г. Чебоксары.

5. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Разработанные автором генераторы озона с высокоомными электродами могут быть использованы:

- для дезинфекции воды плавательных бассейнов,
- для санации морозильных камер хранения мяса и рыбы,
- для обработки пищевого яйца с целью уничтожения сальмонелл,
- для санации воздуха овощехранилищ.

6. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Достоверность полученных результатов подтверждается относительно близким

сопоставлением расчетных и экспериментальных данных. Степень достоверности результатов ограничена принятыми допущениями при математическом моделировании, а также ограничением по точности и полосе частот используемого осциллографа С8-12.

7. Оценка содержания диссертации, её завершенность в целом, замечания по оформлению

Диссертация А.Н. Матюнина представляет собой завершенную научную работу. К оформлению диссертации замечаний нет. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка источников использованной литературы (134 наименования) и 2 приложений. Работа изложена на 140 страницах машинописного текста, включая 53 рисунка и 25 таблиц. Основные положения диссертации опубликованы в научной печати..

Замечания по диссертации:

1. В ряде случаев не соблюдены правила цитирования: при ссылке на книгу не указывается страница.
2. При обсуждении вопросов, связанных с образованием озона, в ряде случаев некорректно используется химическая терминология.
3. Отсутствуют рекомендации автора по использованию разработанных моделей барьерного разряда в инженерной практике.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и могут быть учтены автором в дальнейшей работе.

8. Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат соответствует содержанию и основным положениям диссертации:

1. Представлены теоретические предпосылки применения высокоомных электродов для повышения энергоэффективности систем генерации озона в барьерном разряде с высокоомными электродами.
2. Представлено математическое моделирование систем генерации озона в барьерном разряде, в том числе, в барьерном разряде с высокоомными электродами.
3. Излагаются результаты экспериментальных исследований, описываются схемы экспериментальных установок, приводятся и анализируются осциллограммы и графики полученных экспериментальных зависимостей.

9. Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Основное содержание работы изложено в 23 научных публикациях: 7 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, 16 статей в других изданиях; также получено два патента РФ на изобретение и один патент на полезную модель.

10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Матюнина Алексея Николаевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработан и обоснован способ улучшения энергетических характеристик простейших генераторов озона с барьерным разрядом, не снабженных системой эффективного охлаждения разрядного блока. Озонаторы данного класса находят все более широкое применение в малоозонемких технологиях и позволяют решать практические задачи в области экологии, а также при проведении научных исследований. В диссертации реализован новый подход к описанию разряда в озонаторе с помощью теории электрических цепей и предложены формулы для оценочных расчетов отдельных характеристик микроразряда.

Работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор **Матюнин Алексей Николаевич** заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

ОТЗЫВ составил начальник группы разработки озонаторного оборудования отделения 900 кандидат технических наук Гордееня Евгений Аркадьевич.

ОТЗЫВ на диссертацию Матюнина А.Н заслушан, обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета ВНИЦ ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ» им. академика Забабахина. Протокол №04 от 29 августа 2019 года.

Заместитель председателя научно-технического совета, заместитель директора ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ» им. академика Забабахина - **начальник ВНИЦ**

Соколов Алексей Игоревич

Подпись А.И. Соколова заверяю.

Старший инспектор по кадрам

Татарина Наталья Николаевна

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина»
456770, г. Снежинск Челябинской обл. а/я 245, ул. Васильева, 13.
Адрес ВНИЦ в г. Истра: 143502, г. Истра, ул. Заводская, дом 5.
Телефон организации / Факс: 8(495)994-63-59 / 8(495)994-63-46. Электронная почта: vnits900@vniitf.ru