

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА ШЕРШУНОВОЙ ЕКАТЕРИНЫ АЛЕКСАНДРОВНЫ

на диссертационную работу Матюнина Алексея Николаевича «Исследование систем генерации озона в барьерном разряде с высокоомными электродами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Барьерный разряд, - разряд между электродами, хотя бы один из которых закрыт диэлектриком, известен уже очень давно, с середины 19 века. И именно генерация озона в этом типе разряда является первым его применением. Однако несмотря на долгую историю исследований, направленных на совершенствование озонаторов, до сих пор в этом направлении остаются нерешенные **актуальные** проблемы, связанные с энергоэффективностью этих устройств, обусловленные перегревом газа. Эти проблемы решаются в основном принудительным охлаждением. Автор представленной к защите диссертации делает упор на отводе тепла путем внесения дополнительного внешнего сопротивления. В своей работе Матюнин А.Н. представляет, как расчет математической модели развития микро разряда, так и экспериментально полученные данные по электрофизическим параметрам микро разряда и по энергоэффективности и производительности предложенных им конструкций озонаторов с высокоомными электродами либо с добавочным активным сопротивлением. Описанные в диссертации конструкторские решения, позволившие изготовить действующие образцы озонаторных установок, обладают повышенной до 20 % производительностью, защищены Патентами РФ и согласно представленным актам внедрения используются на таких предприятиях как ООО «Компас», г. Пермь, ООО "Завод "Заряд", г. Гай Оренбургской обл., ООО «ЭКОФОН», г. Чебоксары, что безусловно говорит **о практической значимости** полученных Матюниным А.Н. результатов.

Научная значимость работы заключается в получении новых закономерностей развития барьерного разряда в присутствии высокоомных электродов.

Научная новизна работы заключается в методе повышения энергоэффективности систем генерации озона за счет использования высокоомных электродов в их конструкции, что согласно проведенному расчету и экспериментальным данным ограничивает ток разряда и увеличивает его длительность, при этом не влияет на длину микроарзряда. К новым научным результатам можно отнести также рассчитанные значения приэлектродных и джоулевых потерь для предложенной конструкции, а также предельные режимы работы систем генерации озона с высокоомными электродами.

Степень обоснованности положений и выводов, выдвинутых в диссертации обеспечивается используемыми в работе математическими моделями, построенными с учетом теории электрических цепей с распределенными и сосредоточенными параметрами, теории барьерного разряда, а также использованием известных методов экспериментального исследования электрофизических и энергетических параметров разрядных озонаторных установок.

Диссертация Матюнина А.Н. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 140 страницах, содержит 53 рисунка, 25 таблиц. К работе также приложены акты о внедрении результатов диссертации в практическую деятельность и фотографии опытных образцов созданных озонаторных установок.

Во введении раскрыта актуальность работы, степень разработанности темы исследования, обозначена ее цель и новизна. Приводятся положения, выносимые на защиту: метод увеличения производительности озонаторных систем за счет использования высокоомных электродов, математические модели систем генерации озона с учетом высокого сопротивления электродов, макеты озонаторных систем и результаты теоретических и

экспериментальных исследований процессов энергоэффективности и производительности разработанных систем.

Первая глава носит обзорный характер. В ней представлены материалы по озонаторам, начиная от их области применения и заканчивая их производительностью и энергоэффективностью. Отдельно вынесена теория развития барьерного разряда применительно к озонаторам. В главе описаны существующие способы повышения энергоэффективности за счет оптимизации параметров конструкции озонаторов и принудительных систем охлаждения рабочего газа.

Во второй главе обосновывается применение высокоомных электродов для повышения энергоэффективности озонаторов. На основе вычислений переносимого микрозарядом заряда и мощности потерь делается вывод о потенциальной возможности уменьшения нагрева газа за счет уменьшения амплитуды импульса тока разряда и его удлинения посредством внесения внешнего добавочного сопротивления.

Третья глава посвящена математическому моделированию различных систем генерации озона. Приводятся результаты моделирования развития микрозаряда в одномерной модели поверхностного барьерного разряда, развития микрозаряда в двумерной цилиндрической модели поверхностного барьерного разряда с учетом сопротивления электродов. В работе развита известная математическая модель с распределенными параметрами, не учитывающая паразитные индуктивности, нелинейность сопротивления и взаимное влияние микрозарядов. С помощью упрощенной математической модели озонатора с высокоомными электродами с сосредоточенными параметрами получены результаты для двух конструктивных исполнений разрядной озонаторной камеры: со сплошными электродами и с секционированным электродом. В данной главе также приведены результаты моделирования микрозаряда в плоскопараллельной конструкции электродов в зависимости от смещения токопроводов. Исходя из расчетов установлена длина и время развития микрозаряда, максимальный ток микрозаряда и

максимально возможный переносимый микроразрядом заряд в зависимости от сопротивления электрода. Рассчитаны приэлектродные и джоулевы потери. Установлена связь между граничной частотой напряжения питания озонаторов и расстоянием между токопроводами. Исследование процесса барьерного микроразряда на математической модели с сосредоточенными параметрами показало, что увеличение сопротивления цепи микроразряда путем изменения сопротивления электродов или путем добавления резистора во внешнюю цепь приводит к уменьшению его амплитуды при одновременном возрастании его длительности.

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования созданных систем генерации озона с высокоомными сплошными электродами или с секционированным электродом и добавочными резисторами во внешней цепи в отсутствии и присутствии воздушного охлаждения при различной влажности воздуха. Приведены данные осциллографического исследования тока барьерного микроразряда с обычными параметрами и с увеличенным сопротивлением. Приведены полученные данные по мощности потерь и выходу озона для различных конструкций: со сплошными электродами или с секционированными электродами в зависимости от амплитуды напряжения на электродах озонаторных камер при различных значениях поверхностного сопротивления электродов килоомного диапазона или значениях добавочных последовательно включенных резисторов. Экспериментально установлено, что концентрация озона растет с повышением сопротивления электродов.

В заключении приводятся основные выводы диссертации.

Имеется ряд **замечаний и вопросов** по тексту диссертационной работы:

1. В работе говорится, что переносимый микроразрядом заряд определяет производительность системы озонирования. Изменяется ли количество заряда, переносимого микроразрядом, при

- добавлении в цепь добавочного резистора или электрода с повышенным килоомным сопротивлением?
2. Как Вы объясните большое расхождение экспериментальных и расчетных данных? Характерные времена процессов, полученные экспериментально, на порядок отличаются от расчетных. Правомерна ли в этом случае математическая модель, который Вы пользовались?
 3. Как деградируют электроды из сажи и графита? Может быть, они могут быть заменены хорошо проводящими электродами и добавочными резисторами?
 4. Как Вы оцениваете энергоэффективность предложенных Вами систем генерации озона с высокоомными электродами по сравнению с озонаторами мирового уровня?
 5. На экспериментальных графиках, представленных в четвертой главе, отсутствуют погрешности, что наводит на мысль о неразличимости ряда полученных экспериментальных кривых.
 6. В работе имеются ошибки при наборе формул. В формулах (22) и (29) в подынтегральном выражении отсутствует переменная, по которой производилось интегрирование.

Данные замечания носят непринципиальный характер, и из текста диссертации видно, что работа выполнена на высоком научно-техническом уровне. Диссертация логично построена, четко определены цели работы. Защищаемые положения обоснованы и коррелируют с выводами к работе.

Автореферат написан в соответствии с рекомендациями ВАК и отражает содержание и защищаемые положения диссертации.

Диссертационная работа Матюнина А.Н. является законченной научно-квалификационной работой, апробированной на научных конференциях по профилю исследования. Материалы работы **опубликованы** в 23 работах, 7 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК. Конструкции озонаторов,

описанные в диссертационной работе запатентованы. Некоторые из них внедрены на различных предприятиях РФ.

Диссертационная работа "Исследование систем генерации озона в барьерном разряде с высокоомными электродами" соответствует паспорту специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», а также критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, в том числе п. 9-14

Считаю, что Матюнин А.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент

ученый секретарь

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

«Институт электрофизики и электроэнергетики Российской академии наук»,

Дворцовая наб., 18, Санкт-Петербург, 191186

тел.: +7(499)135-13-04

эл. почта: eshershunova@gmail.com,

кандидат технических наук

Шершунова Екатерина Александровна

Подпись к.т.н. Шершуновой Е.А. заверяю:

Начальник отдела кадров ИЭЭ РАН



Орлова Н.В.

11.09.2019