

На правах рукописи

САНДАКОВ ВИТАЛИЙ ДМИТРИЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА
ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПРИМЕСЕЙ В ЗАМКНУТЫХ
ПОМЕЩЕНИЯХ ИМПУЛЬСНОЙ СТРИМЕРНОЙ КОРОНОЙ**

Специальность 05.09.10 – Электротехнология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2018

Работа выполнена на кафедре «Электрические станции» им. В.К. Шибанова Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

- Научный руководитель доктор технических наук, доцент, профессор
Валеев Ильгиз Миргалимович
- Официальные оппоненты: **Исрафилов Ирек Хуснемарданович**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой высокоэнергетических процессов и агрегатов Набережночелнинского института (филиала) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
- Силкин Евгений Михайлович**
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, генеральный директор Общества с ограниченной ответственностью «Силовая электроника»
- Ведущая организация **Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина» (г. Истра)**

Защита состоится 05 октября 2018 года в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 212.301.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова» по адресу г. Чебоксары, ул. Университетская, д. 38, учебный корпус 3, зал заседаний Ученого совета, к. 301.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова по адресу: 428034, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Университетская, д. 38 и на сайте www.chuvsu.ru.

Автореферат разослан « 01 » августа 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.301.02
к.т.н., доцент

Серебрянников А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В составе воздуха замкнутых помещений могут содержаться такие примеси, как табачный дым, летучие органические соединения, оксиды углерода и азота и т.п. Концентрация перечисленных веществ связана с количеством и длительностью нахождения источников загрязнения в исследуемом замкнутом помещении. Продолжительное нахождение источников загрязнения в помещении гарантированно приводит к превышению предельно допустимых концентраций вредных примесей. Следовательно, решение проблемы совершенствования технологий и устройств для очистки воздуха от вредных примесей остается актуальным и жизненно необходимым.

Анализ работ отечественных и зарубежных ученых, таких как Е.М. Силкин, А.Ф. Дьяков, А.З. Понизовский, Е.А. Филимонова, Ю.П. Пичугин, М.Б. Железняк, Р.Н. Swart, P. Sunka, V. Babisky и др., посвященных технологическим процессам очистки от вредных оксидов атмосферного воздуха, показал, что наиболее перспективными являются электрофизические способы очистки, в частности, процессы с использованием определенных параметров и режимов электрического поля стримерной короны, определяющие возможности совершенствования установок и интенсификации технологического процесса.

Однако, в указанных методах есть ряд существенных недостатков, таких как размеры источников высокого напряжения, сложность конструкций и управления технологическими процессами и высокие энергозатраты.

Перечисленные обстоятельства определили необходимость совершенствования технологий и устройств очистки экологически вредных веществ, и обозначили научную и практическую ценность исследования.

Цель работы – совершенствование и интенсификация процесса конверсии вредных оксидов воздушной среды замкнутых помещений импульсной стримерной короной.

Для достижения этой цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Определение и обоснование методов повышения эффективности технологического процесса наработки химически активных частиц режимами импульсно-периодического стримерного разряда.

2. Разработка физической модели реакционной камеры с системой регулируемых электродов и использованием монокристаллических материалов, позволяющей интенсифицировать процесс очистки воздуха от примесей в замкнутых помещениях.

3. Разработка экспериментального образца высоковольтного генератора периодических асимметричных импульсов, позволяющего регулировать электрические параметры в широком диапазоне.

4. Разработка рекомендаций для проектирования установки очистки атмосферного воздуха в зависимости от объема помещения и количества источников загрязнения в нем, с определением оптимальных параметров высоковольтного импульсного генератора.

Соответствие паспорта специальности 05.09.10 – Электротехнология. Объект изучения: электротехнологические комплексы и системы, функциональными особенностями которых является использование электротехнологических процессов. Область исследований: (п.2) обоснование совокупности технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериев оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнологических комплексов и систем; (п.3) разработка, структурный и параметрический синтез электротехнологических комплексов и систем, их оптимизация, разработка алгоритмов эффективного управления.

Основные положения выносимые на защиту:

1. Усовершенствование устройства очистки введением дросселя в реакционную камеру и новой структуры электродов с использованием монокристалла никеля с плоскостью среза (111).

2. Математическая модель электрофизических процессов в реакционной камере, обеспечивающей увеличение выработки радикалов и химически активных частиц в зоне стримерной короны.

3. Результаты исследования влияния структуры и геометрии электродной системы на параметры плазмы каналов стримерной зоны и электрического поля.

4. Определение параметров питающих импульсов высокого напряжения, при которых эффективно будут вырабатываться химически активные частицы при минимальном потреблении энергии от источника.

Научная новизна:

1. Новым в предложенной математической модели электрофизических процессов в реакционной камере является то, что она разработана с учетом эффекта Джоуля-Томпсона, возникающего за счет наличия дросселя в реакционной камере.

2. Показано, что использование монокристаллических материалов в качестве электрода «плоскость» позволяет равномерно распределить стримерные каналы по всему объему ионизируемой области и увеличить их количество.

3. Определены параметры периодических асимметричных импульсов высокого напряжения, при которых эффективно будут

вырабатываться химически активные частицы при минимальном потреблении энергии от источника.

4. Экспериментально показано, что усовершенствованное устройство очистки позволяет повысить эффективность выработки радикалов и химически активных частиц за счет понижения температуры в реакционной камере и увеличения количества стримерных каналов при питании периодическими асимметричными импульсами напряжения с оптимизированными параметрами.

Теоретическая значимость работы заключается в определении оптимальных параметров образования стримерной короны для очистки воздуха от примесей в зависимости от объема помещения и количества источников загрязнения в нем, решении задачи понижения температуры в реакционной камере, анализа воздействия на процесс очистки использования монокристаллических материалов.

Практическая значимость работы:

1. Усовершенствованное устройство очистки позволяет повысить количество вырабатываемого озона и других радикалов в реакционной камере и интенсифицировать процесс очистки воздуха от примесей в замкнутых помещениях.

2. Предложенная математическая модель электрофизических процессов в усовершенствованной реакционной камере может быть использована при расчете и проектировании устройств очистки воздуха от примесей.

3. Результаты экспериментальных исследований подтвердили целесообразность практического использования усовершенствованного устройства.

4. Разработанный экспериментальный образец установки очистки воздуха от примесей в замкнутых помещениях применяется в учебном процессе по «Технике высоких напряжений» по дисциплине «Электротехнологические процессы и аппараты высокого напряжения», а также рекомендован к использованию для очистки выхлопных газов тепловозов на Казанском межотраслевом предприятии промышленного железнодорожного транспорта (ОАО КМП «Промжелдортранс»).

Объектом исследования является устройство очистки воздуха от примесей в замкнутых помещениях импульсной стримерной короной.

Предметом исследования являются усовершенствованные электротехнологические процессы очистки воздуха от примесей, основанные на применении определенных параметров и режимов электрического поля стримерной короны.

Методы исследования – методы математического и имитационного моделирования с применением современных компьютерных технологий. Электронно-микроскопические и металлографические исследования монокристалла проведены в Центре коллективного пользования

«Прикладные нанотехнологии» (ЦКП ПНТ) при КНИТУ имени А.Н.Туполева. При теоретическом рассмотрении задачи понижения температуры в реакционной камере использовался эффект Джоуля-Томпсона. Для моделирования распределения электрического поля использовался программный пакет Comsol Multiphysics.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается качественным и количественным соответствием теоретических и экспериментальных результатов, а также наличием патентов на конструкционные особенности реакционной камеры и режимов технологического процесса очистки. Степень достоверности результатов достаточно подтверждена применением строгих математических методов, обоснованных допущений, тестовых расчетов, а также совпадением полученных результатов в определенных частных случаях с известными.

Апробация работы

Основные результаты и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийских аспирантско-магистерских семинарах, посвященных дню энергетика (г. Казань, 2012 – 2016 гг.), VIII Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения» (г. Казань, 2013 г.), XIII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы экологии» (г. Тула, 2015 г.), X Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения» (г. Казань, 2015 г.), XI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2016» (г. Иваново, 2016 г.), XI Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения» (г. Казань, 2016 г.), VII Международной молодежной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи – 2016» (г. Казань, 2016 г.).

Личный вклад автора. Анализ, обработка и интерпретация экспериментальных данных, а также математическое моделирование проводились автором лично. В совместных работах автору принадлежит разработка конструкции реакционной камеры и импульсного генератора напряжений, определение и обоснование методов повышения эффективности технологического процесса наработки химически активных частиц режимами импульсно-периодического стримерного разряда.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 12 печатных работ, 4 из них в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, получен 1 патент РФ на полезную модель.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 98 наименований и 4 приложения. Работа изложена на 122 страницах машинописного текста, включая 81 рисунок и 5 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследований, отражены научная новизна и практическая значимость, дано краткое описание работы.

В первой главе проведен обзор зарубежных и отечественных работ, посвященных электрофизическим способам и устройствам очистки атмосферного воздуха от примесей, выявлены их достоинства и недостатки. А также проведено математическое моделирование концентраций загрязняющих веществ в помещениях в зависимости от удельного объема помещения для различных кратностей воздухообмена.

Моделирование концентраций загрязняющих веществ в помещении основано на уравнении материального баланса (уравнение Селиверстова):

$$C = \frac{M_{\text{вр}}}{L_{\text{пр}}} + C_{\text{пр}} - \left(\frac{M_{\text{вр}}}{L_{\text{пр}}} + C_{\text{пр}} - C_0 \right) e^{-\tau \frac{L_{\text{пр}}}{V_{\text{пом}}}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{вр}}$ – количество выделяющихся вредностей; $L_{\text{пр}}$ – величина воздухообмена; C , $C_{\text{пр}}$ и C_0 – концентрация вредностей в помещении в момент времени τ , в приточном воздухе и начальная в помещении соответственно; $V_{\text{пом}}$ – объем помещения.

Приведенное уравнение Селиверстова к виду, учитывающему вместо величины воздухообмена его кратность:

$$C = \frac{C_{\text{уд}}}{V_{\text{уд}} \cdot k} (1 - e^{-k}) + C_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где k – кратность воздухообмена; $C_{\text{уд}}$ – концентрация CO_2 выделяемая одним человеком в час; $V_{\text{уд}}$ – удельный объем на одного человека.

По данным ГОСТ 30494-96, предлагается принимать концентрацию CO_2 в атмосферном воздухе 300-500 ppm, при расчете нами принято, что начальная концентрация CO_2 равна 400 ppm.

Рассчитав зависимость концентрации CO_2 от удельного объема помещения, получаем графики для различных кратностей воздухообмена (рисунок 1), как видно, концентрация углекислого газа при реальных условиях очень часто превышает приемлемый уровень в 600 ppm.

Первоначальная наработка в газе радикалов и химически активных частиц, таких как O , O_3 , OH^- , H_2O_2 и т.д., имеет существенное значение для процесса очистки воздуха замкнутых помещений от примесей. Нарботанные химически активные частицы взаимодействуют с оксидами, окисляя, разлагая или преобразуя их в продукты (кислоты и соли), сравнительно просто удаляемые из газа.

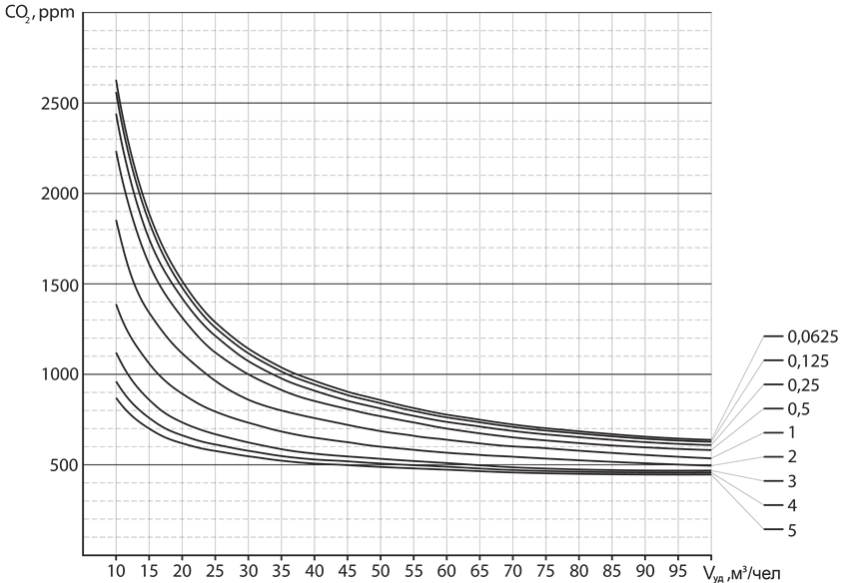


Рисунок 1 – Зависимость концентрации CO_2 от удельного объема помещения для различных кратностей воздухообмена

Проведенный анализ научных работ позволил выявить определенные способы и устройства повышения эффективности процесса наработки в газе радикалов и химически активных частиц, таких как O_3 , а именно:

1. Подобрать наиболее подходящую конфигурацию системы электродов с максимально неоднородным электрическим полем и максимально большой зоной ионизации;

2. Выбрать наиболее стойкие к агрессивной окислительной среде материалы системы электродов с сохранением высоких электрофизических параметров;

3. Подобрать форму импульсного напряжения, близкую к прямоугольной, с коротким фронтом, ограниченной длительностью импульса и недопускающую перехода стримерного разряда в искровой;

4. Найти эффективный способ понижения температуры в рабочей зоне озонатора для повышения выработки радикалов и химически активных частиц.

Во второй главе проведен расчет распределения электрических полей для различных электродных систем с целью определения оптимальных параметров образования стримерной короны. Проведен анализ влияния структуры и геометрии электродной системы на параметры плазмы каналов стримерной зоны и электрического поля.

Для создания импульсной стримерной короны в реакционной камере необходимо резко неоднородное электрическое поле. Среди разнообразных форм электродов особое место в технике высоких напряжений занимают пары электродов «игла – игла» и «игла – плоскость». Электрическое поле этих электродов обладает наибольшей степенью неравномерности, вследствие чего они широко используются для изучения разряда в резко неоднородных полях.

Разрядное напряжение газовых промежутков определено, основываясь на законе Пашена:

$$U_p = \frac{B(\delta s)}{C_k + \ln(\delta s)}, \quad (3)$$

где B и C_k – коэффициенты, δ – плотность воздуха, s – расстояние между электродами.

Расчеты разрядного напряжения U_p воздушных промежутков показали, что для возникновения короны более благоприятным является наименьшее расстояние между электродами.

По формуле Ника определены напряженности появления короны:

$$E_k = B\delta \left[1 + \frac{A\delta}{(r\delta)^C} \right], \quad (4)$$

где r – радиус кривизны стержня.

Расчеты напряженности появления короны E_k воздушных промежутков показали, что для возникновения короны более благоприятным является наименьшие радиусы кривизны электродов.

Максимальная напряженность для электродов «игла – игла» в зависимости от полученного разрядного напряжения определяется по формуле:

$$E_m = 2 \frac{U/r}{\ln(2s/r)}, \quad (5)$$

где U – разрядное напряжение, s – промежуток, соответствующий разрядному напряжению, r – радиус кривизны иглы ($r = 25$ мкм).

Максимальная напряженность для электродов «игла – плоскость» в зависимости от полученного разрядного напряжения определяется по формуле:

$$E_m = 4 \frac{U/r}{\ln(4s/r)}, \quad (6)$$

Определяя максимальные напряженности по формулам (5, 6), построим графики зависимостей $f_2 = E_m(U)$ для электродов типа «игла – игла» и $f_3 = E_m(U)$ для электродов типа «игла – плоскость» (рисунок 2).

Из полученных расчетов можно сделать вывод, что используя, систему электродов «игла – плоскость», можно получить максимально возможный уровень неоднородности поля относительно других типов систем электродов.

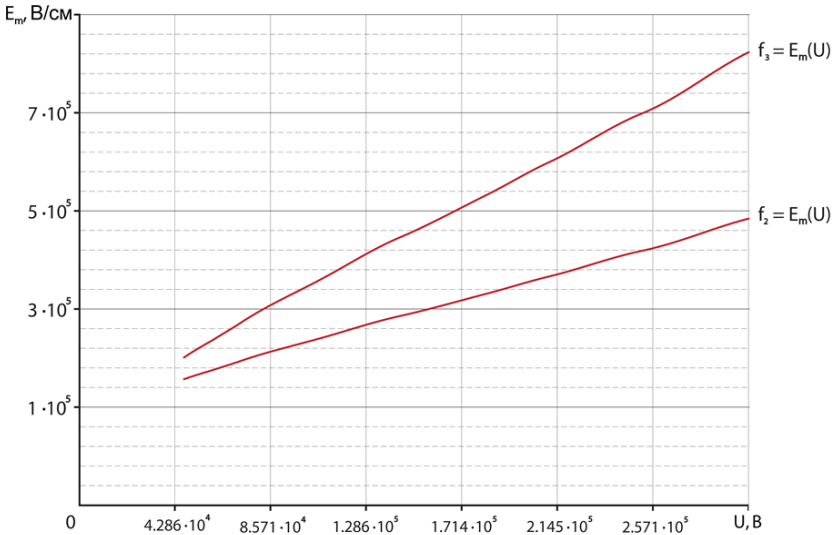


Рисунок 2 – Графики зависимостей $f_{2,3} = E_m(U)$ для электродов типа «стержень – стержень» и «стержень – плоскость»

На энергетические характеристики оказывает влияние не только форма и конструкция, но и физико-химический состав электродов. Нами был проведен ряд экспериментов с поликристаллическими и монокристаллическими электродами различных материалов, таких как железо, платина, никель, медь и др. В зависимости от влажности воздушной среды, концентрации оксидов, работы выхода электрона, изменении температуры и давления в реакционной камере наилучшие результаты показал монокристалл никеля с плоскостью среза (111).

Методами топографического и композиционного контраста с увеличением 12000-20000 крат было изучено формирование рельефа монокристалла никеля (рисунок 3).

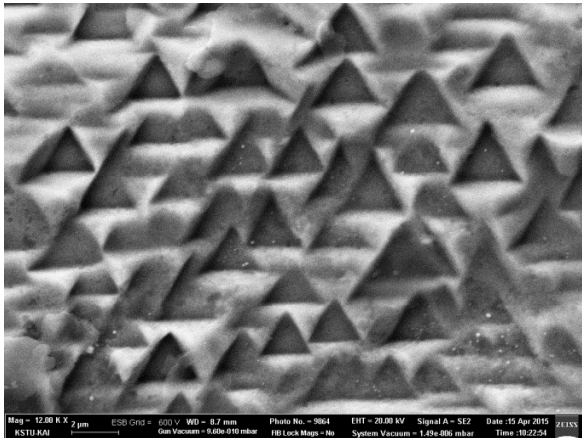


Рисунок 3 – Монокристалл никеля (111) снятый электронным микроскопом AURIGA CrossBeam с энергодисперсионным спектрометром INCA X-MAX с увеличением 12000 крат

Основой технологического процесса образования радикалов и химически активных частиц в поле стримерной короны является их неравномерное распределение в объеме ионизируемой области. А именно в зоне резко неоднородного поля вблизи стримерных каналов, которые распределены, как показывают экспериментальные данные, неравномерно в межэлектродном пространстве. Но при использовании предложенного монокристалла было установлено равномерное распределение стримерных каналов по всему объему ионизируемой области в сравнении с поликристаллическими материалами, и как следствие увеличение наработки химически активных частиц (рисунки 4, 5).

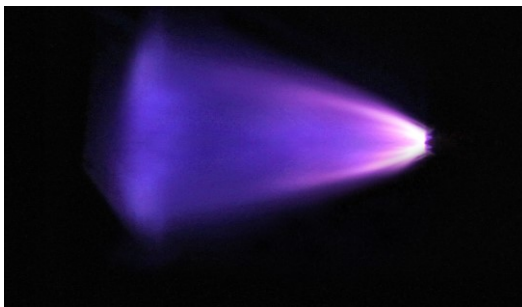


Рисунок 4 – Фотография ионизируемой области реакционной камеры с использованием монокристалла в качестве электрода «плоскость»

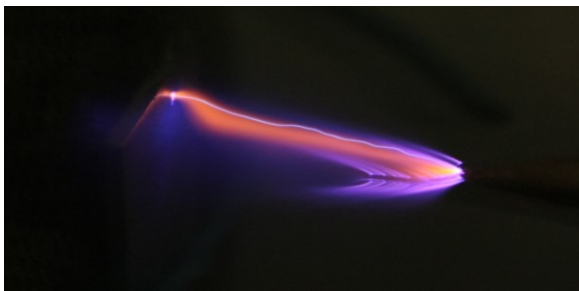


Рисунок 5 – Фотография ионизируемой области реакционной камеры с использованием поликристалла в качестве электрода «плоскость»

В ходе экспериментальных замеров были установлены зависимости изменения концентраций O_3 от энерговыклада в стримерную корону, показавшие, что использование монокристаллических материалов, а именно монокристалла никеля, увеличивает на 20-25% количество вырабатываемых в рабочей зоне установки радикалов и химически активных частиц таких как O_3 , что, вероятно, связано с работой выхода электрона никеля и анизотропией монокристалла.

В третьей главе обоснован выбор импульсного источника высокого напряжения. Проведено математическое моделирование конструкции реакционной камеры, обеспечивающей увеличение наработки радикалов и химически активных частиц в зоне стримерной короны.

Для создания переменного электрического поля был применен источник асимметричного периодического высокого напряжения (ИАПВН), разработанный в высоковольтной лаборатории КГЭУ, позволяющий управлять распределением напряженности поля и плотностью объемного заряда в рабочем объеме реакционной камеры.

Импульсный источник высокого напряжения создает условия, при которых эффективно будут вырабатываться химически активные частицы при минимальном потреблении энергии от источника (рисунок 6), а именно:

- регулируемая частота – 5-500 кГц;
- большой диапазон регулируемой напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве;
- регулирование конверсии частотой импульсов (задержка между двумя микрозарядами $< 0,06$ мкс, что меньше времени распада радикалов (10-100 мкс));
- Диапазон амплитуд импульсных напряжений (U^+ , U^-) – 5-12 кВ;
- Отношение длительностей положительного и отрицательного импульса $\tau^+/\tau^- \sim 2-4$.

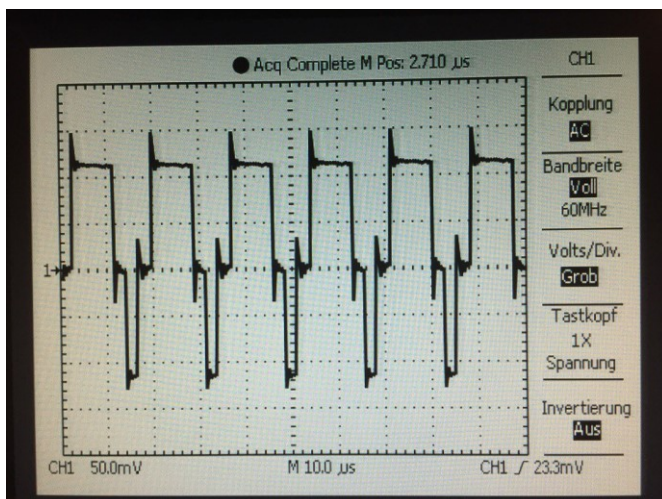


Рисунок 6 – Осциллограмма импульсов периодического напряжения на электродах реакционной камеры

При разряде значительная часть энергии превращается в тепло, нагревая очищаемый газ, что приводит к снижению выработки радикалов и химически активных частиц за счет их распада при повышенной температуре.

При теоретическом рассмотрении задачу понижения температуры в реакционной камере можно решить, опираясь на эффект Джоуля-Томпсона, основанного на медленном протекании газа под действием постоянного перепада давлений сквозь дроссель (местное резкое сужение в канале).

Согласно эффекту Джоуля-Томпсона при математическом моделировании принимаем следующие допущения:

1. Изменение внутренней энергии газа ΔE равно механической работе, производимой над газами:

$$\Delta E = E_2 - E_1, \quad (7)$$

где E_1 и E_2 соответственно энергия газа в начальном и конечном состояниях.

Тогда

$$\Delta E = - \left(\int_{V_1}^0 p_1 dV + \int_0^{V_2} p_2 dV \right) = (p_2 V_2 - p_1 V_1), \quad (8)$$

$$E_1 + p_1 V_1 = E_2 + p_2 V_2 \text{ или } H_1 = H_2 = \text{const}, \quad (9)$$

где H – энтальпия газа. Базовым постулатом модели является уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса:

$$\left(p + \frac{av^2}{V_m^2} \right) (V_m - bv) = \nu RT, \quad (10)$$

где p – давление, V_m – молярный объем, ν – количество молей газа, T – абсолютная температура, R – универсальная газовая постоянная.

3. Вычисление концентраций активных компонентов в стримерном канале определяется приближенным способом, основанным на введении G -факторов. Концентрация i -ого компонента определяется:

$$n_i = \frac{\sum_j G_{ij} x_j w_{st}}{100}, \quad (11)$$

где G_{ij} – количество частиц сорта i , возникших из молекул сорта j на 100 эВ введенной в газ электрической энергии; x_j – мольная доля j -го компонента, из которой в области высокого поля возникает i -й компонент; w_{st} – некоторая часть энергии, введенной в единицу объема стримера, затраченная на образование активных компонентов.

Разность температур определим по формуле:

$$\frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p - V}{C_v}, \quad (12)$$

где C_v – молярная теплоемкость при постоянном объеме. Воспользовавшись тождеством:

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = - \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = - \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V / \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T, \quad (13)$$

преобразуем формулу (12) к виду:

$$\frac{\Delta T}{\Delta P} = - \frac{T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_V + V \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T}{C_v \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T}. \quad (14)$$

Из уравнения Ван-дер-Ваальса получим:

$$\frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{\frac{bRT}{(V-b)^2} - \frac{2a}{V^2}}{C_v \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T}. \quad (15)$$

Из уравнения Клапейрона, при условии $H = \text{const}$:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{1}{C_v + R} \left[RT_1 \frac{b}{V-b} - \frac{2a}{V} \right]. \quad (16)$$

Тепло, выделяющееся в микроузоре:

$$Q_p = UI\tau_p = T_1 C_g m, \quad (17)$$

где C_g – удельная теплоемкость газа, m – масса газа. Следовательно, разность температур:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{1}{C_v + R} \left[\frac{RU\tau_p b}{C_g m(V-b)} - \frac{2a}{V} \right]. \quad (18)$$

Изменение знака эффекта Джоуля-Томпсона происходит при температуре инверсии:

$$T_i = \frac{2a}{Rb}. \quad (19)$$

Так как для группы экологически вредных газов температура инверсии лежит в области $T_i > 1063^\circ\text{K}$, следовательно, эффект Джоуля-Томпсона будет работать на понижение температуры при $\Delta T < 0$.

Таким образом, математическая модель показала, что применение дросселя в реакционной камере ведет к снижению температуры газов и, соответственно, к увеличению выработки радикалов и химически активных частиц, что, в свою очередь, повышает эффективность процесса очистки.

Для подтверждения математической модели нами были разработаны, испытаны и запатентованы конструкции реакционной камеры с дросселем и монокристаллом никеля в качестве электрода «плоскость».

Устройство очистки газовых сред (рисунок 7) содержит источник высокого напряжения 1 (5÷15 кВ), к положительному и отрицательному полюсам которого подключены соответственно положительный 2 и отрицательный 3 электроды, помещенные в диэлектрическую реакционную камеру 4, имеющей входной канал 5 подачи газовой среды, загрязненной вредными примесями, выходной канал 6 очищенной газовой среды. Отрицательный электрод 3 выполнен в виде металлической сетки с перпендикулярно установленными электропроводящими иглами с возможностью регулирования по длине (телескопические иглы 8), а положительный электрод 2 выполнен в виде пластины монокристалла никеля 9, окруженной металлической сеткой.

Устройство очистки газовых сред работает следующим образом. Поток газовой среды забирается из помещения и с помощью компрессора (на чертеже условно не показан) через входной канал 5 нагнетается в диэлектрическую реакционную камеру 4 со стороны отрицательного электрода 3.

Работа дросселя 7, основанная на эффекте Джоуля-Томпсона (постоянный перепад давлений при медленном протекании газа сквозь

местное резкое сужение в канале), приводит к понижению температуры в диэлектрической реакционной камере 4, при этом достигается повышение концентрации озона, что эффективно сказывается на понижении концентраций вредных примесей и ускоряет процесс очистки газовых сред.

Посредством использования вышеописанного устройства были получены зависимости концентраций O_3 от энерговклада в стримерную корону (рисунок 8) для прототипа без дросселя и монокристаллических материалов [патент RU 144782 от 27.08.2014] (рисунок 8, кривая а), для устройства очистки газовых сред с дросселем без использования монокристалла никеля (рисунок 8, кривая б), для устройства очистки газовых сред с дросселем и с применением монокристалла никеля (рисунок 8, кривая в).

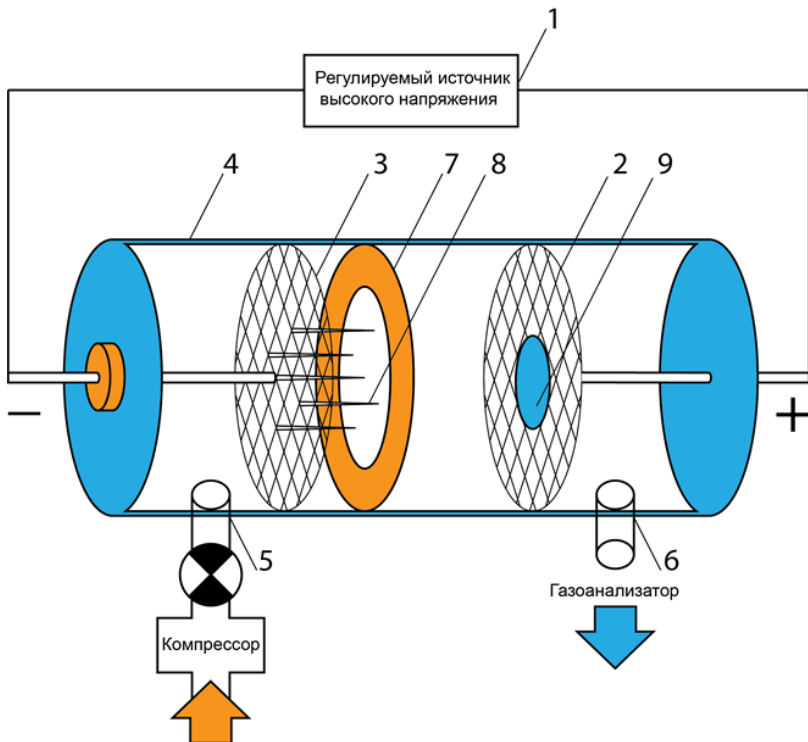


Рисунок 7 – Структурная схема устройства очистки газовых сред: 1. источник высокого напряжения; 2. положительный электрод; 3. отрицательный электрод; 4. диэлектрическая реакционная камера; 5. входной канал; 6. выходной канал; 7. дроссель; 8. телескопические иглы; 9. пластина монокристалла никеля

В четвертой главе рассмотрена схема экспериментальной установки, методика проведения измерений концентраций вредных примесей, оборудование, предназначенное для исследования изменения концентрации вредных примесей в газовых средах. А также проведено экспериментальное исследование по оптимизации энергетических характеристик в импульсных газоразрядных устройствах для конверсии CO_2 в поле стримерной короны.

Исследования влияния электрофизических и разрядных характеристик на газовую смесь в данной работе выполнены на разработанной в высоковольтной лаборатории КГЭУ экспериментальной установке (рисунок 9), включающую в себя реакционную камеру, импульсный источник питания, делитель напряжения и комплекс измерительной аппаратуры.

Для измерения различных компонентов в газовых смесях в работе применена газоаналитическая система GMS800, включающая в себя аналитические модули, использующие метод недисперсионной спектроскопии в инфракрасной области (NDIR). Точность измерения соответствует ГОСТ Р ИСО 11042-1-2001.

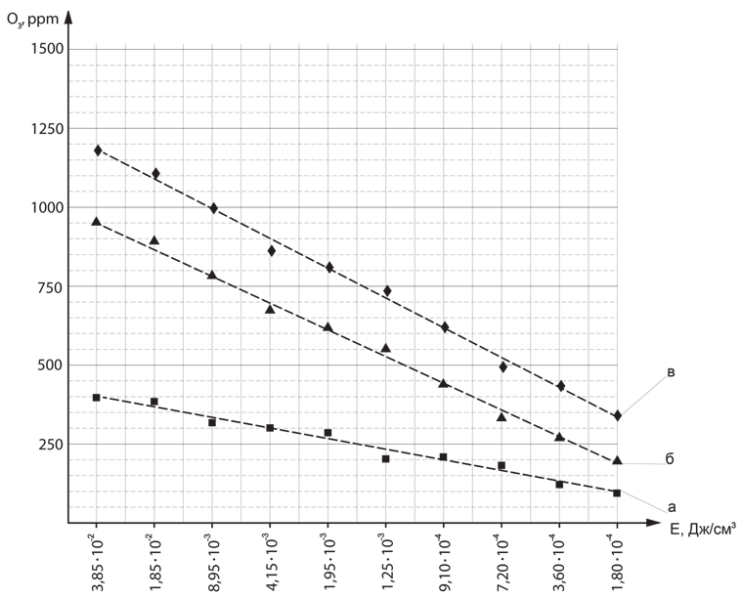


Рисунок 8 – Зависимость изменения концентрации O_3 от энерговклада в стримерную корону: а – для прототипа без дросселя и монокристаллических материалов [патент RU 144782 от 27.08.2014], б – для устройства очистки газовых сред с дросселем и с применением монокристалла никеля; в – для устройства очистки газовых сред с дросселем и с применением монокристалла никеля

С помощью экспериментальной установки, разработанной в высоковольтной лаборатории КГЭУ, описанной выше, для исследования влияния электрофизических и разрядных характеристик на газовую смесь был проведен ряд экспериментов по оптимизации энергетических характеристик в импульсных газоразрядных устройствах для конверсии CO_2 в поле стримерной короны. Были получены вольт-амперные характеристики и зависимости концентраций O_3 и CO_2 от энерговклада для различных кратностей воздухообмена.

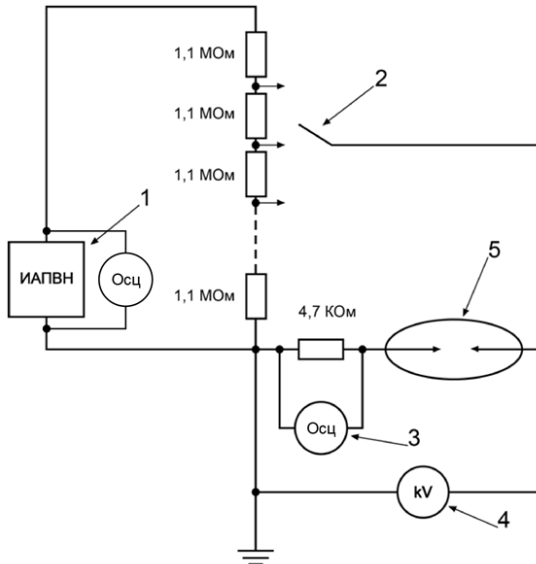


Рисунок 9 – Функциональная схема экспериментальной очистительной установки:

1. источник асимметричного периодического высокого напряжения;
2. Делитель напряжения;
3. Осциллограф;
4. Киловольтметр;
5. Реакционная камера

Совместив экспериментальный и теоретический графики зависимостей концентрации CO_2 от энерговклада и удельного объема помещения, соответственно, для различных кратностей воздухообмена, мы можем построить номограмму (рисунок 10) с погрешностью в 5%, показывающую необходимое количество энергии для очистки воздуха для различных кратностей воздухообмена при изменении удельного объема помещения на человека. Опираясь на данную номограмму, появляется возможность регулировать энергозатраты установки очистки газовых сред при изменении концентрации CO_2 в помещении.

Регулируемый энерговклад позволяет сократить энергозатраты на процесс наработки химически активных частиц и очистки от CO_2 в 2-20

раз в зависимости от количества находящихся в помещении людей и времени их пребывания в нем. Также разработаны рекомендации для проектирования установки очистки атмосферного воздуха в зависимости от объема помещения и плотности размещения в нем людей, с определением оптимальных параметров высоковольтного импульсного генератора.

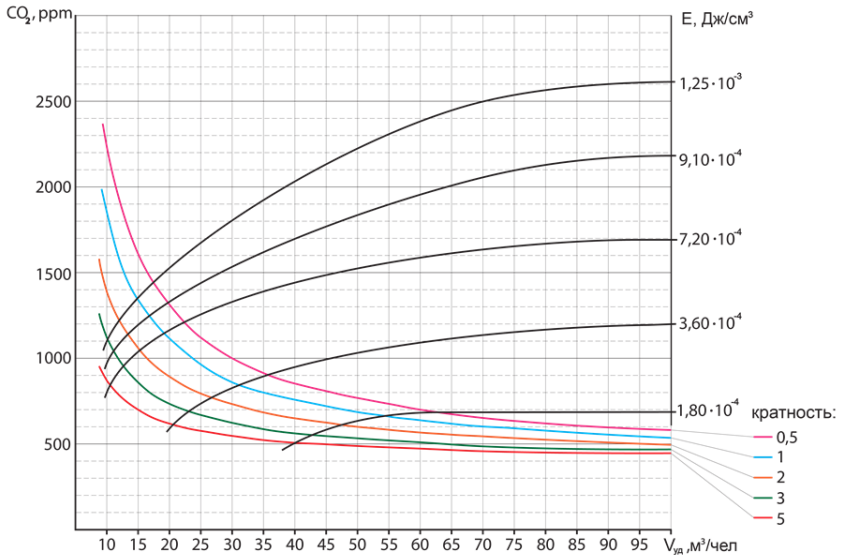


Рисунок 10 – Номограмма зависимостей концентрации CO_2 от энерговклада и удельного объема помещения для различных кратностей воздухообмена

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены и обоснованы методы повышения эффективности технологического процесса конверсии вредных оксидов режимами импульсно-периодического стримерного разряда.

2. Разработанный высоковольтный источник периодических импульсов напряжений, позволил регулировать электрические параметры (частоту, длительность и амплитуду) в широком диапазоне для образования стримерного разряда в реакционной камере.

3. Определены параметры питающих импульсов высокого напряжения, при которых эффективно будут вырабатываться химически активные частицы при минимальном потреблении энергии от источника, а именно: регулируемая частота – 5-500 кГц; большой диапазон

регулируемой напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве; регулирование конверсии частотой импульсов (задержка между двумя микроразрядами $< 0,06$ мкс, что меньше времени распада радикалов (10-100 мкс)); диапазон амплитуд импульсных напряжений (U_+ , U_-) – 5-12 кВ; отношение длительностей положительного и отрицательного импульса $\tau_+/\tau_- \sim 2-5$.

4. Разработана физическая модель реакционной камеры с системой регулируемых электродов и использованием монокристаллических материалов, позволяющая интенсифицировать процесс очистки воздуха от примесей в замкнутых помещениях.

5. Экспериментально установлено, что, использование монокристалла никеля в качестве электрода «плоскость» влияет на равномерное распределение стримерных каналов по объему ионизируемой области и увеличивает на 20-25% количество вырабатываемых в рабочей зоне установки радикалов и химически активных частиц, таких как O_3 .

6. Установлено, что применение дросселя в процессе очистки атмосферного воздуха от примесей ведет к снижению температуры газов и, соответственно, к увеличению количества нарабатываемых в реакционной камере химически активных частиц, что, в свою очередь, значительно повышает эффективность процесса очистки.

7. Показано, что регулирование потребления энергии от импульсного источника позволяет сократить энергозатраты на процесс наработки химически активных частиц и очистки от CO_2 в 2-20 раз в зависимости от количества находящихся в помещении источников загрязнения и времени их пребывания в нем.

8. Разработаны рекомендации для проектирования установки очистки атмосферного воздуха в зависимости от объема помещения и количества источников загрязнения в нем, с определением оптимальных параметров высоковольтного импульсного генератора.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Патенты:

1. Пат. 170188 Российская Федерация, МПК ВОЗС 3/09. Устройство очистки газовых сред / Сандаков В.Д., Валеев И.М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет». – № 2017100314; заявл. 09.01.2017; опуб. 18.04.2017, Бюл. № 11. – 1 с.

Научные публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

2. Сандаков, В.Д. Повышение производительности установок очистки при воздействии на газовую среду ультрафиолетовым излучением / В.Д. Сандаков, А.Н.Подрезов, И.М. Валеев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – № 3-4. – С. 96-100.

3. Сандаков, В.Д. К вопросу очистки газов переменным электрическим полем / В.Д. Сандаков, А.Н.Подрезов, И.М. Валеев // Энергетика Татарстана. – 2014. – № 3-4. – С. 81-83.

4. Сандаков, В.Д. Повышение эффективности устройств очистки газовых сред от NO_x и SO_2 / В.Д. Сандаков [и др.] // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18.– № 10. – С. 100-101.

5. Сандаков, В.Д. Особенности очистки газовых выбросов с использованием монокристаллических электродов / В.Д. Сандаков [и др.] // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. – №20. – С. 269-271.

Научные публикации в других изданиях:

6. Сандаков, В.Д. Способы очистки газовых выбросов в энергетике / В.Д. Сандаков // VIII Международная молодежная научная конференция «Гинчуринские чтения»: сб. мат. докл. – Казань: Казан. Гос. Энерг. Ун-т, 2013. – Т. 1 – С. 66-67.

7. Сандаков, В.Д. Разработка научных основ технологии и рекомендаций по совершенствованию оборудования для очистки дымовых газов электростанций от оксидов азота и серы / В.Д. Сандаков // X Международная молодежная научная конференция «Гинчуринские чтения»: сб. мат. докл. – Казань: Казан. Гос. Энерг. Ун-т, 2015. – Т. 1. – С. 127.

8. Сандаков, В.Д. Применение новых методов очистки газовых сред от диоксидов азота и серы / В.Д. Сандаков, А.Н. Подрезов // XIII Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы экологии»: сб. мат. докл. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2015. – С. 5-7.

9. Сандаков, В.Д. Повышение эффективности очистки газовых сред / В.Д. Сандаков, А.Н. Подрезов // XIII Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы экологии»: сб. мат. докл. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2015. – С. 3-5.

10. Сандаков, В.Д. Особенности применения анизотропных электродов в реакционных камерах очистки вредных газов / В.Д. Сандаков, А.Н. Подрезов // XI Международная молодежная научная

конференция «Тинчуриинские чтения»: сб. мат. докл. – Казань: Казан. Гос. Энерг. Ун-т, 2016. – Т. 1. – С. 122-123.

11. Сандаков, В.Д. Особенности применения изотропных электродов для очистки газов в поле стримерной короны / В.Д. Сандаков // VII Международная научно-техническая конференция «Электроэнергетика глазами молодежи – 2016»: сб. мат. докл. – Казань: Казан. Гос. Энерг. Ун-т, 2016. – Т. 3. – С. 285-286.

12. Сандаков, В.Д. Применение монокристаллов для повышения эффективности очистки газовых сред / В.Д. Сандаков, А.Н. Подрезов // Одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия – 2016»: сб. мат. докл. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2016. – Т. 3. – С. 185-187.

Личный вклад автора в опубликованных работах:

- в работах [1-5, 9-12] принимал участие в подготовке и проведении всех экспериментальных измерений, обработке результатов измерений; участвовал в обсуждении результатов экспериментов и разработке конструкции реакционной камеры и импульсного генератора напряжений, в подготовке публикаций к печати;

- в работах [6-8] принимал участие в определении и обосновании методов повышения эффективности технологического процесса наработки химически активных частиц режимами импульсно-периодического стримерного разряда, в подготовке публикаций к печати, выступал с результатами работ на конференциях.

САНДАКОВ Виталий Дмитриевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА
ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПРИМЕСЕЙ В ЗАМКНУТЫХ
ПОМЕЩЕНИЯХ ИМПУЛЬСНОЙ СТРИМЕРНОЙ КОРОНОЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать __.07.2018 г. Формат 60×84 1/16. Печ. л. 1,25
Бумага офсетная. Печать оперативная. Тираж 100 экз. Заказ № ____.
Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии
ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова»
428015, г. Чебоксары, Московский пр., д. 15.