

На правах рукописи



Королёв Андрей Евгеньевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ
ВЕНТИЛЯЦИИ ВОЗДУХА ИОННЫМ ВЕТРОМ

Специальность 05.27.02 – «Вакуумная и плазменная электроника»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2015

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет»

Научный руководитель: **Верещагин Николай Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника», декан «Факультета электроники» ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет», г. Рязань.

Официальные оппоненты: **Амиров Равиль Хабибулович**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Бочков Виктор Дмитриевич, кандидат технических наук, директор, научный руководитель ООО "Импульсные Технологии", г. Рязань.

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт газоразрядных приборов «Плазма», г. Рязань

Защита состоится «29» сентября 2015 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.03 при ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» и на официальном сайте университета <http://www.rsreu.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.211.03
д-р физ.- мат. наук, профессор



Чиркин М.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

В настоящее время наблюдается большой интерес к исследованию коронного разряда из-за широкой сферы его применения. Он применяется в электрофильтрах, плазмохимических системах для синтеза озона. Для обработки и обеззараживания поверхностей, сушки различных материалов, в системах зарядки аэрозолей. Коронный разряд так же применяется в электрографии и электростатической печати. Генерация ионного ветра используются в газоразрядных лазерах и системах с самостоятельной прокачкой ионным ветром: очистителях воздуха, ионизаторах и множество других применений.

Одним из современных направлений исследования ионного ветра является изучение его применения в устройствах теплообмена: охлаждение электронных устройств, бесшумные вентиляторы.

Бесшумные вентиляторы на основе коронного разряда имеют ряд преимуществ перед механическими:

- возможность работы в агрессивных средах и условиях высоких температур;
- очистка и обеззараживание прокачиваемого газа;
- отсутствие вибраций, низкий уровень шума;
- простота конструкции электродной системы;
- отсутствие движущихся деталей;
- высокая эффективность преобразования электрической энергии.

Несмотря на наличие высокого напряжения устройства «ионного ветра» более безопасны, чем традиционные вентиляторы с вращающимися лопастями. Более того, они могут заменить даже такие специфические устройства, как вращающиеся вентиляторы. Поэтому возникает необходимость исследования вентилятора на основе ионного ветра с принципиально новой конструкцией электродной системы.

Целью данной работы является разработка и исследование установки для вентиляции воздуха, основанной на эффекте ионного ветра в коронном разряде. Исследуются динамические и энергетические характеристики вентилятора при различных конфигурациях электродной системы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработка и создание электродной системы, позволяющей получать заданную скорость воздушного потока;
2. исследование динамических характеристик электродной системы;
3. исследование влияния конструкции электродной системы на скорость воздуха и эффективность преобразования электрической энергии;
4. исследование влияния способа питания электродной системы на скорость электрического ветра.

Научная новизна

1. Установлено, что в системе электродов остриё - две параллельные пластины, установленные на равном расстоянии от острия, параллельно ему, возрастает скорость электрического ветра по сравнению с известной конструкцией остриё – сетка.
2. получена формула для расчета скорости электрического ветра исследуемых многоступенчатых устройств: $v = v_0 \sqrt{n}$, где v_0 – скорость воздушного потока, для конструкции с одним коронирующим электродом, n – число коронирующих электродов.
3. экспериментально определено, что увеличение числа каскадов приводит к увеличению эффективности преобразования электрической энергии в энергию направленного движения воздушного потока.
4. экспериментально установлено, что существует оптимальное отношение L/H при котором скорость воздушного потока максимальна, где L – расстояние между коронирующими электродами, H – расстояние от коронирующего до осадительного электрода.

Положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Увеличение числа каскадов электродной системы вентилятора коронного разряда в n раз приводит к увеличению скорости воздушного потока в \sqrt{n} раз, а мощность, вводимая в разряд, растет пропорционально числу каскадов n .

2. Выбор межэлектродных расстояний электродной системы вентилятора коронного разряда с учетом условия $3 \leq L/H \leq 4$, где L – расстояние между коронирующими электродами, H – расстояние от коронирующего электрода до осадительного, обеспечивает увеличение скорости воздушного потока V в 1,2-1,5 раза и уменьшение габаритов электродной системы на 20-80%.

3. Смещение коронирующего электрода за пределы осадительных электродов, в системе электродов остриё - две параллельные пластины, установленные на равном расстоянии от острия, параллельно ему, позволяет увеличить продольную составляющую вектора напряженности E_x , что приводит к увеличению скорости воздушного потока на 70%, по сравнению с известными конструкциями электродной системы, при неизменной потребляемой мощности.

Достоверность результатов исследования подтверждается:

1. Использованием современных средств и методик проведения исследований;

2. сходимостью теоретических результатов, результатов моделирования и экспериментальных данных;

3. оценкой точности экспериментальных данных.

Практическая значимость

1. Создана конструкция многокаскадной, многоуровневой электродной системы, позволяющей получить заданную скорость воздушного потока (до 8м/с для 8 ступеней ускорения);

2. определено, что увеличение числа каскадов приводит к увеличению скорости воздушного потока и эффективности преобразования электрической энергии в энергию направленного движения воздушного потока;

3. разработана конструкция разрывных осадительных электродов позволяющая увеличить скорость воздушного потока и снизить потребляемую мощность;

4. определено оптимальное соотношение межэлектродных расстояний L/H для конструирования вентиляторов на основе электрического ветра в коронном разряде.

Реализация результатов работы

Новые научно-технические результаты, изложенные в диссертационной работе, внедрены в процесс разработки и изготовления устройств ионного ветра в ООО «Электрический ветер» и в учебный процесс ФГБОУ ВПО «Рязанского государственного радиотехнического университета».

Апробация работы

Результаты исследований, представленные в диссертационной работе, обсуждались на международной конференции 20th international workshop on beam dynamics and optimization RUSSIA, Saint-Petersburg-, 2014, на международной научно-технической конференции ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ. Саранск 2012, 2013г. 32-ом Всероссийском семинаре «Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии», Москва, химический факультет МГУ 2012, XXIV всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов БИОМЕДСИСТЕМЫ – 2011 Рязанского государственного радиотехнического университета, 58 студенческой научно-технической конференции Рязанского государственного радиотехнического университета 2011г.

Публикации

Результаты диссертационной работы отражены в 11 публикациях, из них 3 в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, получен патент РФ на изобретение.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 118 страницы основного текста, иллюстрированных 78 рисунками, список литературы, включающий 76 источников на 7 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований устройства для вентиляции воздуха электрическим ветром, сформулированы цели и задачи исследований, показаны научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения и результаты, выносимые на защиту.

В первой главе проведен аналитический обзор литературных источников по применению коронного разряда и исследованиям ионного ветра.

Рассмотрены сферы применения коронного разряда такие как: электрофильтрация и очистка воздуха от различных примесей, синтез озона, обработка и обеззараживание поверхностей, для возбуждения активной среды в газовых лазерах, для контроля состояния металлических тросов. Ионный ветер в коронном разряде применяется для самостоятельной прокачки воздуха в очистителях воздуха и в устройствах для сушки различных материалов. В таких устройствах достигаются невысокие значения скорости ионного ветра.

Перспективными областями применения ионного ветра являются охлаждение электронной аппаратуры и бесшумные вентиляторы. Проведен анализ исследований электрического ветра и конструкций электродных систем, применяемых в различных устройствах. Показана актуальность проводимых исследований диссертационной работы.

Во второй главе приводится описание источника питания, электродных систем и методика проведения экспериментов.

Для питания установки используется стабилизированный источник питания, работающий от сети. Выходное напряжение регулируется в диапазоне 5-20кВ. В экспериментах применяются два вида умножителей: несимметричная схема, с коэффициентом умножения напряжения 8 и две несимметричные схемы умножения с коэффициентом умножения 4. Для проведения опытов с отрицательной короной используется несимметричный умножитель напряжения.

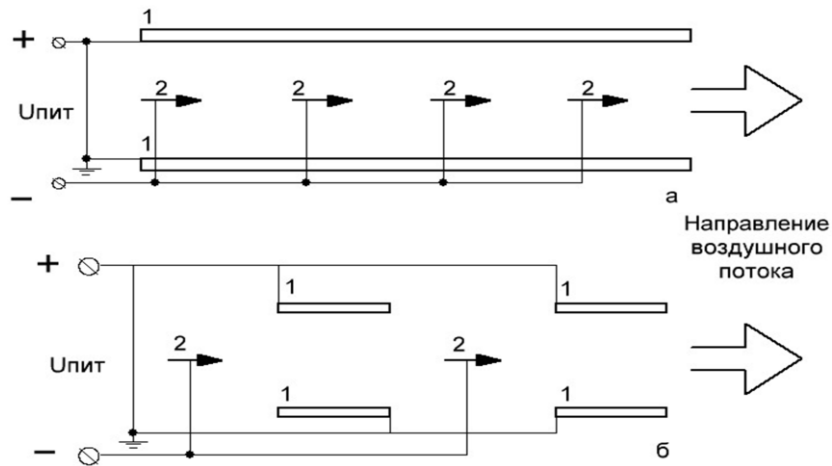


Рисунок 1- Структурная схема электродной системы (а- со сплошными осадительными электродами, б- с прерывистыми осадительными электродами) 1-осадительные электроды, 2-коронирующие электроды

К источнику питания подключается электродная система. Эксперименты проводились при комнатной температуре и нормальной влажности воздуха на установке согласно схемам, приведенным на рис. 2.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований многокаскадной установки с различными межэлектродными расстояниями и способами питания.

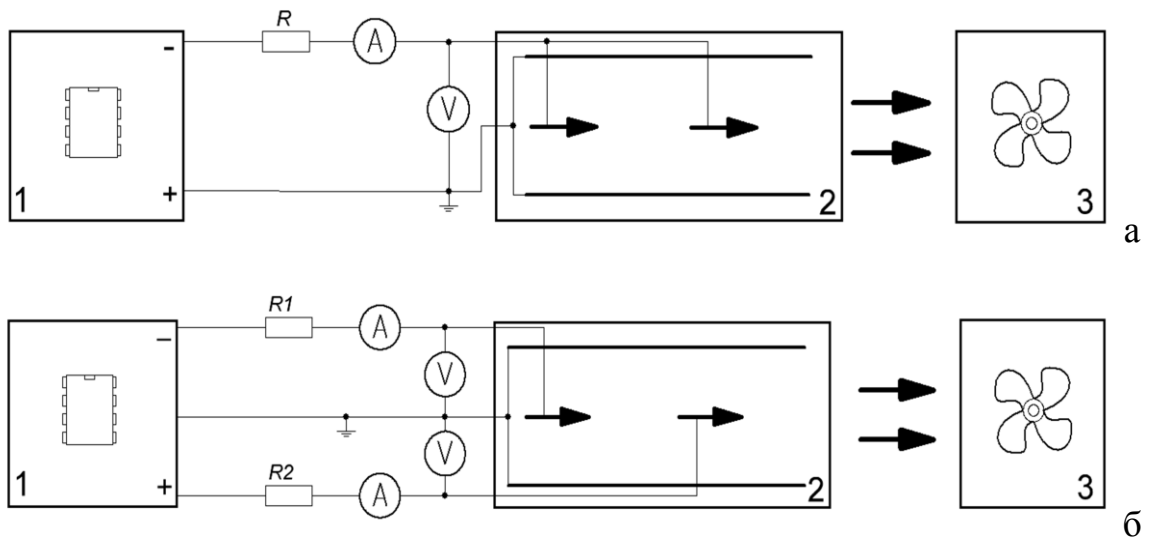


Рисунок 2- Структурная схема измерения при униполярном (а) биполярном (б) питании 1-источник питания, 2-электродная система, 3-анемометр, V-киловольтметр, A-амперметр, R1,R2-резисторы

Многочисленные работы посвящены исследованию электрического ветра на классической установке острие-плоскость. Такая конструкция имеет ряд недостатков: она не позволяет получить высокой скорости электрического ветра, так как максимальная скорость

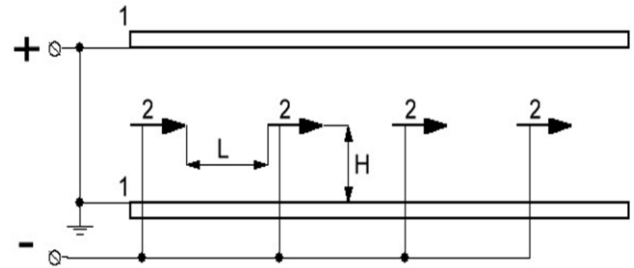


Рисунок 3 – Структурная схема ЭС со сплошными осадительными электродами (1-осадительные электроды, 2-коронирующие электроды)

ограничена напряжением пробоя межэлектродного промежутка, осадительный электрод, расположенный перпендикулярно воздушному потоку создает сопротивление, снижая его скорость. Для получения направленного потока с более высокой скоростью предлагается использовать многоступенчатую конструкцию типа острие – параллельные плоскости. Данная конструкция имеет два сплошных осадительных электрода (1) и несколько коронирующих электродов (2) (рис.3) Осадительные электроды представляют собой сплошные пластины, выполненные из нержавеющей стали. Коронирующие электроды выполнены в виде узких пластин с коронирующей стороны, которых расположены зубья треугольной формы.

На все коронирующие электроды подается равный отрицательный потенциал. Отрицательная корона более стабильна и позволяет работать на более высоких напряжениях. Коронирующие электроды расположены между осадительными электродами через фиксированное расстояние (L) параллельно потоку газа.

Такое расположение пластин обеспечивает минимальное сопротивление газовому потоку и обеспечивает условие получения максимальной скорости ветра. Основным преимуществом такой системы является возможность увеличения скорости воздушного потока за счет увеличения числа ускоряющих секций.

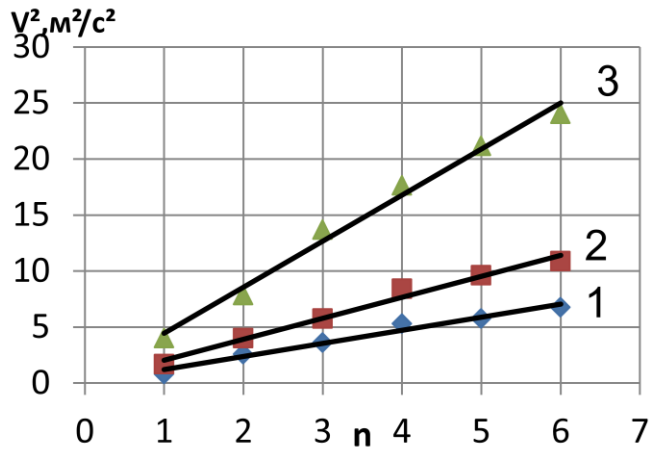


Рисунок 4 – Зависимости квадрата скорости воздушного потока от числа коронирующих электродов для различных напряжений (1-7кВ, 2-8кВ, 3-10кВ)

ускоряет ионы, которые, сталкиваясь с нейтральными молекулами газа, передают им свою энергию, увеличивая скорость воздушного потока.

На основе экспериментальных данных была получена формула для определения скорости воздушного потока в зависимости от числа каскадов электродной системы:

$$v = v_0 \sqrt{n} \quad (1)$$

где v - скорость воздушного потока, v_0 - скорость воздушного потока для одного коронирующего электрода,

n - число коронирующих электродов. На рис.4 приведены зависимости квадрата скорости от числа коронирующих электродов.

С целью повышения эффективности установки проводилась оптимизация конструкции установки и способов ее питания. Было установлено, что расстояние между

Увеличение числа коронирующих электродов приводит к росту скорости воздушного потока во всем диапазоне питающего напряжения. Установка, содержащая 6 коронирующих электродов, развивает скорость воздуха, в 2.5 раза превышающую скорость воздуха от одного коронирующего электрода (рис.4). Каждая секция

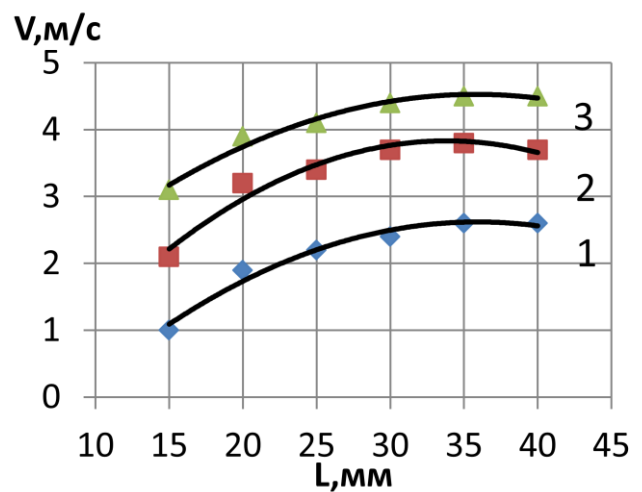


Рисунок 5 – График зависимости скорости от расстояния между коронирующими электродами (L), при $H=10$ мм (1-8кВ, 2-10кВ, 3-12кВ)

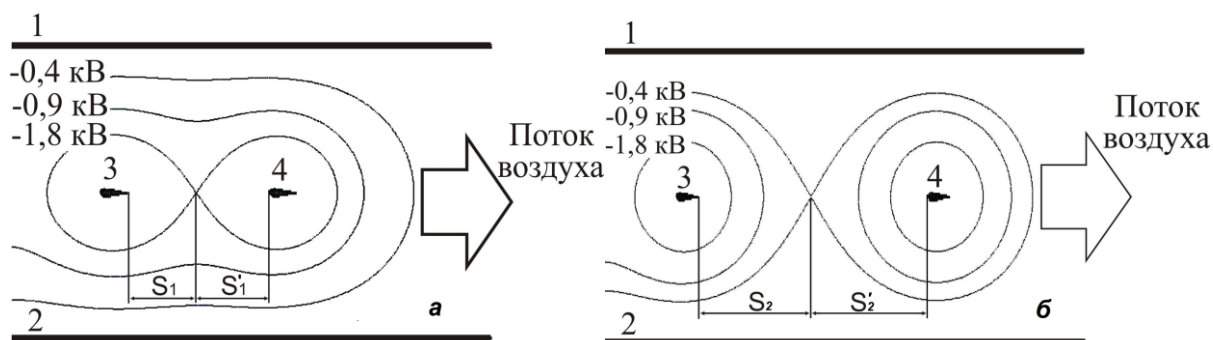


Рисунок 6- Моделирование электрических полей при $H=12$ мм: а – $L=15$ мм; б – $L=30$ мм (1, 2 – осадительные электроды; 3, 4 – коронирующие электроды; S_1 , S_2 – длина пути иона в ускоряющем поле, S_1' , S_2' – длина пути иона в тормозящем поле)

коронирующими электродами (L) влияет на скорость воздушного потока. График зависимости скорости от расстояния между коронирующими электродами (L) приведен на рис.5. При увеличении расстояния сначала наблюдается резкий рост скорости воздушного потока до $L=30$ мм, потом рост скорости прекращается и происходит ее снижение. Это обусловлено тем, что с увеличением расстояния (L) изменяется распределение электрического поля таким образом, что ослабляется тормозящее электрическое поле от соседнего коронирующего электрода и скорость растет. Однако с увеличением расстояния между коронирующими электродами сопротивление воздуха возрастает, что приводит к замедлению роста скорости.

Для подтверждения причин, приводящих к тому, что скорость зависит от межэлектродного расстояния, проводилось численное моделирование электрического поля в межэлектродном пространстве (рис.6). При увеличении расстояния между коронирующими электродами (L) в два раза, изменяется распределение поля, ионы дольше находятся в ускоряющем поле S_2 , и потенциал точки равноудаленной от коронирующих электродов на их оси увеличивается с $-1,8$ кВ до $-0,4$ кВ. В распределении поля возрастает составляющая, вектор которой направлен по направлению потока газа (V_x). Энергия, передаваемая ионами нейтральным молекулам воздуха увеличивается, следовательно, возрастает общая скорость потока на выходе установки.

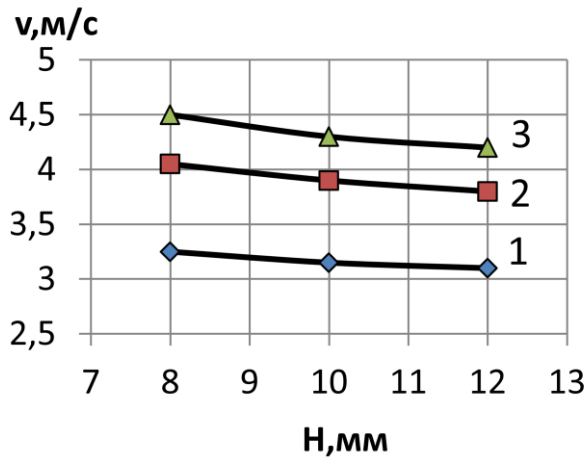


Рисунок 7 – График зависимости скорости от расстояния между коронирующим и осадительным электродами для $L=30 \text{ мм}$ (1- $P=10 \text{ Вт}$, 2- $P=20 \text{ Вт}$, 3- $P=30 \text{ Вт}$)

Также установлено, что изменение расстояния между коронирующим и осадительным электродами (H) приводит к изменению скорости воздушного потока на выходе установки. Увеличение расстояния от коронирующего до осадительного электрода (H) приводит к незначительному снижению скорости (рис.7). Однако, это приводит к увеличению площади выходного окна установки, что ведет к росту производительности системы.

В результате исследования установлено, что существует оптимальное отношение расстояния между коронирующими электродами к расстоянию между коронирующим и осадительным электродами L/H , при котором установка обеспечивает максимальную скорость воздушного потока (рис. 8)[11]. При увеличении отношения L/H скорость ветра сначала возрастает, а затем медленно убывает. Для данной конструкции оптимальное отношение находится в пределах 3-4.

Причины образования экстремума обусловлены конкуренцией нескольких факторов. Ослабление тормозящего поля и увеличение составляющей вектора напряженности поля, направленную по ходу движения потока, что приводит к увеличению скорости. С другой стороны, рост потерь мощности на трение приводит к уменьшению скорости.

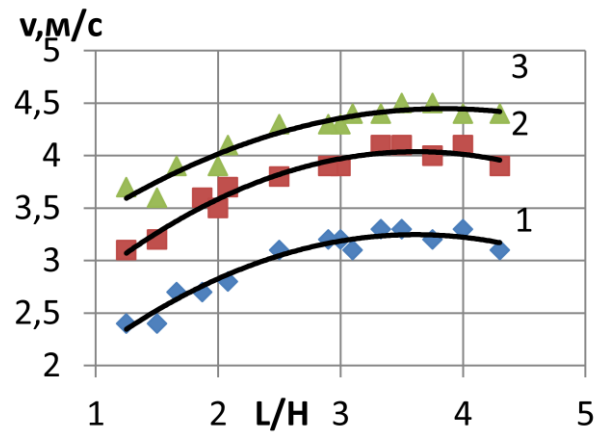


Рисунок 8 – Зависимость скорости воздушного потока от отношения расстояния между коронирующими электродами L к расстоянию между осадительными электродами H (1- $P=10 \text{ Вт}$, 2- $P=20 \text{ Вт}$, 3- $P=30 \text{ Вт}$)

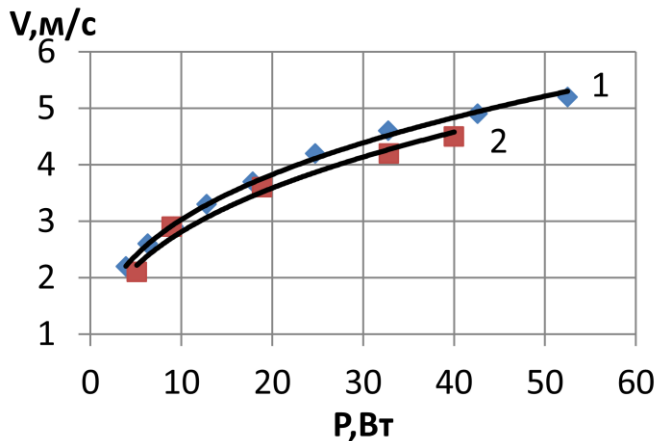


Рисунок 9 – Зависимость скорости воздушного потока от потребляемой мощности (1-отрицательная корона, 2-с биполярным питанием)

питания не приводит к увеличению скорости воздушного потока, а наоборот уступает отрицательной короне (рис.9). Более того отрицательная корона позволяет ввести в разряд большую мощность и получить более высокую скорость воздушного потока.

В четвертой главе исследуется установка с прерывистыми осадительными электродами.

В такой системе осадительные электроды (2) выполнены в виде узких стальных пластин, расположенных на одном уровне. Коронирующие электроды (1) расположены между осадительных на определенном расстоянии. Таким образом, в осадительном электроде образуется разрыв в области коронирующего электрода (рис. 10). Так же как для систем со сплошными осадительными электродами, наблюдается нелинейный рост скорости с увеличением числа коронирующих электродов. Для повышения скорости воздушного потока была проведена оптимизация межэлектродных

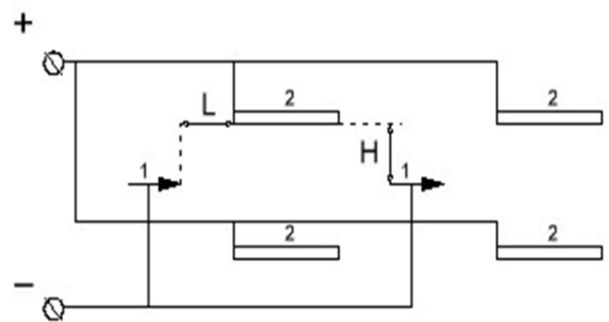


Рисунок 10 – Структурная схема ЭС с прерывистыми осадительными электродами (1-коронирующие электроды, 2-осадительные электроды)

Для увеличения скорости воздушного потока проводилась исследование влияния питания установки на скорость ионного ветра. Электродная система подключается к источнику согласно схеме приведенной на рис.2б. В результате исследования было установлено, что применение биполярного

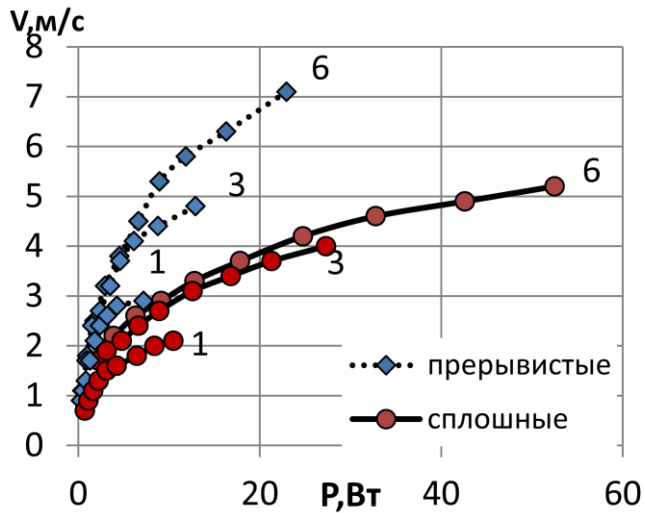


Рисунок 11 – Зависимости скорости воздушного потока от потребляемой мощности для сплошных прерывистых осадительных электродов) 1,3,6-число коронирующих электродов

прерывистыми осадительными электродами возрастает на минимальной потребляемой мощности в 4.5 раза и в 2 раза во всем диапазоне потребляемой мощности.

Наибольшая эффективность установки наблюдается при малой потребляемой мощности (рис.12). Таким образом, энергетически более выгодно использование установки на малых мощностях. Кроме того, на низком рабочем напряжении горение разряда более стабильно, не происходит искрового пробоя межэлектродного промежутка. Получение высокой скорости воздушного потока и высокой эффективности возможно за счет применения многоступенчатой электродной системы.

расстояний и математическое моделирование электрических полей. Было установлено оптимальное соотношение межэлектродных расстояний: $1.3 < L/H < 1.7$

Применение конструкции с прерывистыми осадительными электродами позволяет повысить скорость воздушного потока более чем в 1.5 раза для любого числа коронирующих электродов (рис. 11). Эффективность системы с

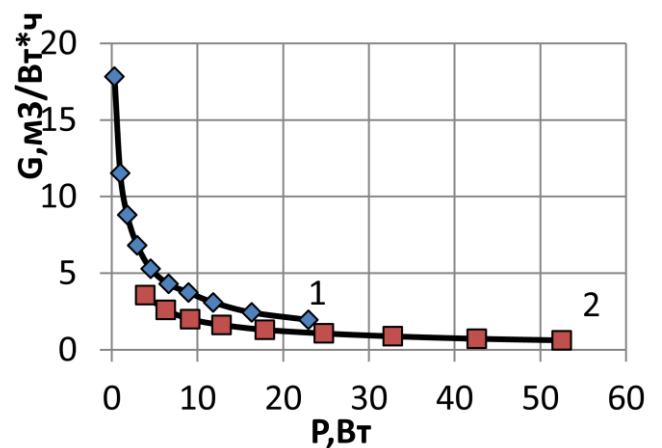


Рисунок 12 – Зависимости эффективности системы от потребляемой мощности(1- прерывистые осадительные электроды, 2- сплошные осадительные электроды)

В пятой главе приведены рекомендации по конструированию электродной системы вентилятора коронного разряда. Определены оптимальные геометрические размеры многоострийного коронирующего электрода. Оптимальное расстояние между остриями 5мм, при уменьшении расстояния происходит взаимная экранировка острий, что ведет к снижению производимой ионизации и снижению скорости ионного ветра. Выбор толщины материала коронирующего электрода производится исходя из механической прочности. Длина коронирующего электрода выбирается минимально возможной, для снижения влияния его электрического поля на движение заряженных частиц. Для коронирующих электродов, необходимо увеличивать радиус кривизны противоположной стороны для устранения на ней острых граней и предотвращения зажигания обратной короны.

Для увеличения скорости электрического ветра, снижения потребляемой мощности необходимо использовать прерывистый осадительный электрод.

При исследовании зависимостей скорости от межэлектродных расстояний было выявлено, что для получения максимальной скорости воздушного потока для различных расстояний H , необходимо изменение расстояния L . Другими словами, максимальная скорость для сплошных и прерывистых осадительных электродов зависит от отношения L/H . То есть существует оптимальное соотношение L/H при котором скорость воздушного потока максимальна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Экспериментально установлено, что для многокаскадных систем со сплошными и прерывистыми осадительными электродами увеличение числа каскадов установки приводит к увеличению скорости воздушного потока, и пропорциональному увеличению мощности вводимой в разряд.

2 На основе экспериментальных данных была получена формула для определения скорости воздушного потока в зависимости от числа каскадов электродной системы: $v = v_0\sqrt{n}$, где v - скорость воздушного потока, n - число

коронирующих электродов, v_0 -скорость воздушного потока для одного коронирующего электрода.

3. Применение конструкции с прерывистыми осадительными электродами позволяет повысить скорость воздушного потока более чем в 1.5 раза для любого числа коронирующих электродов, при равной потребляемой мощности.

4. Для получения максимальной скорости воздушного потока и снижения габаритных размеров устройства для систем с прерывистыми и сплошными осадительными электродами существует оптимальное соотношение межэлектродных расстояний L/H .

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ

1. Vereshchagin N. M., Vasilev V. V., Korolev A. E., Shemarin K. V. Investigation of the Electric Wind Velocity Subject to the Electrode System Design in Plasma Chemical Reactor // 20th international workshop on beam dynamics and optimization IVESC-ICEE-ICCTPEA-BDO-2014- Russia, Saint-Petersburg-, 2014, pp 182-183

2. Верещагин Н.М., Королев А.Е., Васильев В.В., Шемарин К.В. Исследование вентилятора коронного разряда // Вестник РГРТУ. 2013. № 4 (выпуск № 46). Часть 3. С. 64–67

3. Верещагин Н.М., Королев А.Е., Васильев В.В., Шемарин К.В. Проектирование конструкции электродной системы вентилятора коронного разряда с максимальной скоростью электрического ветра // Вестник РГРТУ. 2014. № 2 (выпуск № 48). С. 149-152

4. А.Е. Королев, В.В. Васильев, Н.М. Верещагин, К.В. Шемарин Эффект электрического ветра в коронном разряде и его использование в технике // Материалы международной научно-технической конференции ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ (часть2). Саранск 2012, с.63-66;

5. А.Е. Королев, В.В. Васильев, Н.М. Верещагин, К.В. Шемарин Исследование концентраций оксидов азота и аэроионов в вентиляторе коронного разряда // Материалы международной научно-технической конференции ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ. Саранск 2013, с.63-66;

6. А.Е. Королев, В.В. Васильев, Н.М. Верещагин, К.В. Шемарин Вентилятор-озонатор коронного разряда с прокачкой воздуха электрическим ветром // Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии. Материалы 32-го Всероссийского семинара Москва, химический факультет МГУ 2012, с 169-172

7. А.Е. Королев, В.В. Васильев, К.В. Шемарин Вентилятор-озонатор для очистки и обеззараживания воздуха // Тезисы XXIV всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов БИОМЕДСИСТЕМЫ – 2011 Рязанского государственного радиотехнического университета. Рязань 2012, с.87-91.

8. В.В. Васильев, Н.М. Верещагин, А.Е. Королёв, К.В. Шемарин Вентиляция и очистка воздуха электрическим ветром в коронном разряде // Сборник I-ой всероссийской заочной научно-практической конференции: декабрь 2012. г. Бийск 2012 г, с. 25-27.

9. Васильев В.В., Королев А.Е. Исследование и разработка установки для вентиляции воздуха электрическим ветром // Тезисы докладов 58 студенческой научно-технической конференции Рязанского государственного радиотехнического университета. Рязань 2011, с.35-36.

10. В.В. Васильев, Н.М. Верещагин, А.Е. Королев, К.В. Шемарин Высоковольтный стабилизированный импульсный источник питания с бестрансформаторным входом // Межвузовский сборник научных трудов «ЭЛЕКТРОНИКА» Рязанского государственного радиотехнического университета. Рязань 2011, с.91-95.

11. Патент № 2492394 РФ. Устройство для вентиляции воздуха / Верещагин Н.М., Королев А.Е., Шемарин К.В.

Королёв Андрей Евгеньевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ
ВЕНТИЛЯЦИИ ВОЗДУХА ИОННЫМ ВЕТРОМ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____. Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0

Тираж 100 экз.

Рязанский государственный радиотехнический университет.
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.