

На правах рукописи

Мануйленко Александр Николаевич

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОЗОНАТОРА-ИЗЛУЧАТЕЛЯ
ВОЗДУХА НА ЭЛЕКТРОДАХ С КЕРАМИЧЕСКИМ ОСНОВАНИЕМ ДЛЯ
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ**

Специальность: 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и
энергоснабжение агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена на кафедре автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Научный руководитель: **Сторчевой Владимир Федорович,**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и роботизации технологических процессов им. академика И. Ф. Бородина ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева

Официальные оппоненты: **Юферев Леонид Юрьевич,**
доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела Энергообеспечения АПК ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Шевченко Андрей Андреевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии ФГБОУ ВО Кубанского ГАУ

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»

Защита состоится 13 июня 2024 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н. И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» и на сайте Университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.030.03
к.т.н., доцент

Н. Н. Пуляев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Традиционно вопросы обеззараживания, оздоровления и улучшения газового состава воздушной среды в животноводческих помещениях решаются путём применения различных способов: биологических, химических, физических и комбинированных. В классическую концепцию комбинированных способов можно включить сочетание физических и химических способов с применением активной вентиляции, мойки, газации, дезинфекции и орошения. Необходимо отметить, что применение активного вентилирования связано с большими энергозатратами; орошение и применение аэрозолей характеризуются низкой производительностью; мойка и газация – простоем помещений и негативным воздействием на экологию, а также сопутствующими энергетическими расходами на дегазацию и сушку. Методы обработки, основанные на применении химических препаратов, небезопасны в экологическом отношении и способны привести к нежелательным изменениям свойств биологических объектов. Поэтому разработка технологий и технических средств, обеспечивающих улучшение показателей качества воздушной среды в животноводческих помещениях, является актуальной научной задачей.

Научными исследованиями подтверждено, что для улучшения показателей воздушной среды необходимо использовать электротехнологию озонирования. Обработка производственных помещений и технологического оборудования озоном исключает промывку и дегазацию.

Степень разработанности темы исследования. В разное время над такой электротехнологией, как озонирование, работали отечественные и зарубежные учёные: Чижевский А.Л., Кривопишин И.П., Ксенз Н.В., Сторчевой В.Ф., Юферев Л.Ю., Селезнева Д.М., Шевченко А.А., Волошин А.П., Першин А.Ф., Лебедев Д.В., Безруких Н.С., Безруких Е.Г., Матюнин А.Н., Максименко В.А., Нормов Д.В., Озеров И.Н., Овсянников Д.А., Смирнов А.А., Гуляев П.В., Branun S., Masuda S., Akutsu K., Pietsch G.J., Kogelschatz U. и многие другие. Из анализа источников литературы известно, что при всех достоинствах обработки воздушной среды озоном, существует основная проблема, которая заключается в нестабильной работе озонаторных установок при длительных режимах работы и сложности обеспечения равномерной концентрации внутри обрабатываемого помещения. Поэтому для получения максимального эффекта работы необходимы мероприятия для обеспечения равномерности распределения озона внутри помещения.

Цель исследования – повышение эффективности обеззараживания воздушной среды животноводческих помещений за счёт способов ионизации и озонирования путём использования излучателя на электродах с керамическим основанием.

Объект исследования – процесс обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях, за счёт озонатора-излучателя на электродах с керамическим основанием.

Предмет исследования – параметры зон излучения ионизации и озонирования озонатора-излучателя на электродах с керамическим основанием для обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях.

Задачи диссертационного исследования:

1. Провести анализ способов и технических средств для обеззараживания и улучшения показателей качества воздушной среды животноводческих помещений.
2. Разработать методику расчёта максимальной напряженности электрического поля и максимального потенциала в зоне ионизации и озонирования.
3. Разработать математическую модель и провести теоретические исследования взаимосвязи конструктивных и технологических параметров озонатора-излучателя воздуха на электродах с керамическим основанием.
4. Разработать конструкцию электрического озонатора-излучателя воздуха на электродах с керамическим основанием, работающего на основе ионизации коронирующего разряда, обеспечивающего регулируемую производительность по озону и управляемость процессом озонирования.
5. Провести экспериментальные исследования электроозонирования воздушной среды и определить эффективные режимы обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях.
6. Выполнить производственную проверку и расчёт технико-экономической эффективности применения опытного озонатора-излучателя воздуха, оснащённого излучателем в виде двух керамических оснований с закреплёнными на них электродами.

Научная новизна работы:

1. Разработана математическая модель, учитывающая взаимосвязь между конструктивными и электрическими параметрами озонатора воздуха, для обеспечения рекомендуемой напряженности электрического поля при озонировании.
2. Определена эффективная напряженность потенциально заряженной сферы над проводящей плоскостью электродной системы озонатора-излучателя воздуха.
3. Получены регрессионные зависимости, определяющие взаимосвязь между производительностью озонатора-излучателя и параметрами регулирования.

Теоретическая и практическая значимость работы определена следующими основными результатами:

1. Разработана математическая модель, позволяющая учитывать взаимосвязь между конструктивными и электрическими параметрами озонатора воздуха, для обеспечения рекомендуемой напряженности электрического поля при озонировании.
2. Разработанные методики расчёта максимальной напряженности электрического поля обоснованы эффективными режимами работы озонатора-излучателя на электродах с керамическим основанием для обеззараживания воздуха от газовой и патогенной загрязненности в животноводческих помещениях.
3. Результаты теоретических и экспериментальных исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ при проектировании и расчёте технических параметров электроозонаторных установок, работающих по принципу коронного разряда в системе электрод-проводящая плоскость.

4. Предложена новая конструкция озонатора-излучателя на электродах с керамическим основанием для обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях, позволяющая улучшить показатели качества воздушной среды и санитарного состояния животноводческих помещений.

5. Научные и практические результаты диссертационного исследования прошли производственные испытания и внедрены в производственный процесс ООО «Биоритм», ИП КФХ Горбачев Р.А.

Методология и методы исследования. В ходе проведения диссертационного исследования применялись методики натурного и численного эксперимента, базирующиеся на основных принципах физики и электротехники. Полученные экспериментальные данные подвергались математической обработке и регрессионному анализу с использованием прикладного программного обеспечения для моделирования и общего назначения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель взаимосвязи между конструктивными и электрическими параметрами озонатора-излучателя на электродах с керамическим основанием для обеспечения рекомендуемой напряженности электрического поля при озонировании.

2. Результаты теоретических исследований и численного моделирования влияния конструктивных параметров системы электродов на электрические параметры озонатора воздуха.

3. Разработанная конструкция коронно-разрядного электрического озонатора воздуха, позволяющая проводить обработку озоном воздушной среды и поверхностей помещения с возможностью передачи сигнала на блок управления о работе электродвигателя, передачи сигнала на регулируемый генератор высокого напряжения и обеспечения коронирующего разряда на излучателе, выполненном в виде двух керамических оснований с закрепленными на них вольфрамовыми электродами на одном основании в виде сетки с сотовой формой ячейки, на другом в виде иглы с кронштейном крепления.

Реализация результатов исследования: разработан автономный модуль озонатора-излучателя для улучшения показателей качества воздушной среды. Экспериментальный образец озонатора и результаты НИР внедрены и апробированы в ООО «Биоритм», ИП КФХ Горбачев Р.А.

По результатам диссертационного исследования получены патенты на полезную модель «Электрический озонатор воздуха» №205379 от 13.07.2021 г. Бюл. № 20; № 204184 от 13.05.2021 г. Бюл. № 14, на изобретение «Электроозонатор» № 2787881 от 13.01.2023 г. Бюл. № 2.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы развития молодых ученых «УМНИК-2019» фонда содействия инновациям и департамента кадровой политики Белгородской области.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность полученных результатов при проведении диссертационного исследования обеспечивается применением фундаментальных законов электротехники, механики газа, массообмена, корректностью обработки данных натурных и численных экспериментов, а также современного математического аппарата при проведении исследований.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 22 научных конференциях, финальном отборе программы «УМНИК» фонда содействия инновациям по направлению «Новые приборы и интеллектуальные производственные технологии» (г. Белгород, 2018 г., 2019 г.); заседании экспертной комиссии межвузовского проектного офиса инженерной направленности, проходившем на базе БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Белгород, 2019 г.); конкурсе инновационных разработок ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ в номинации «Лучшая инновационная технология» (п. Майский, 2019 г.); конкурсе на соискание грантов по проведению научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям развития науки, техники и критическим технологиям для студентов и аспирантов вузов от департамента внутренней и кадровой политики Белгородской области (г. Белгород, 2020 г.); конкурсе проектов AgroTech Innovation Belgorod 2021 (г. Белгород, 2021 г.); XXIII Всероссийской агропромышленной выставке Золотая осень (2021 г.); Всероссийском конкурсе «Инженер года» в номинации «Инженерное искусство молодых», (г. Москва, 2022 г.); во II и III этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России в номинации «Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение АПК», (г. Орёл, 2022 г., г. Ставрополь, 2022 г., г. Москва, 2023 г., г. Ставрополь, 2023 г.); конкурсе научных работ, направленных на обеспечение импортнезависимости и технологического суверенитета Российской Федерации, посвященного 300-летию РАН (г. Белгород, 2024 г.).

Публикации. Результаты исследований отражены в 26 научных работах, в том числе 7 – из перечня изданий определённых ВАК РФ, 1 статья в изданиях, входящих в Международную Базу Данных (МБД). Получены 1 патент на изобретение, 2 патента на полезную модель.

Структура и объем диссертации: материалы диссертационной работы изложены на 180 страницах машинописного текста, содержат 28 таблиц, 74 рисунка, работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Список использованной литературы включает в себя 126 наименований, в том числе 14 на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы и поставлены цель и задачи научного исследования, обоснована научная новизна, а также практическая значимость, приведено изложение основных результатов диссертационной работы.

В первой главе «Обзор способов и технических средств, для улучшения показателей качества воздушной среды и санитарного состояния животноводческих помещений» проведен анализ существующих способов для обеззараживания и улучшения показателей качества воздушной среды по газовому составу в животноводческих помещениях. Основные способы регулирования качества воздушной среды в животноводческих помещениях можно разделить на: биологические, химические, физические и комбинированные. На основе оценки рассмотренных методов обеззараживания

производственных помещений были выявлены основные предпосылки к применению электроозонирования: возрастающее беспокойство о последствиях использования химических составов; наличие высокой окислительной и дезинфицирующей характеристик; дезодорирующее и бактерицидное действие.

Анализ научных работ показал, что озон обладает целым комплексом полезных свойств: устраняет неприятные запахи; уничтожает болезнетворные микроорганизмы и насекомых; разрушает токсические вещества; повышает в воздухе и воде количество кислорода, что способствует увеличению его содержания в крови, улучшая состояние органов и тканей; способствует повышению иммунитета; снижает раздражительность, стресс и болевые ощущения, ускоряет заживление ран.

К основным недостаткам применения озонаторных установок для улучшения показателей качества воздушной среды и её обеззараживания можно отнести нестабильность работы электроозонаторов при длительных режимах работы и сложность обеспечения равномерной концентрации озона внутри обрабатываемого помещения. Для устранения этих недостатков необходимо определить эффективные режимные параметры установок на коронном разряде в зоне озонобразования.

Во второй главе «Теоретические исследования параметров электрического поля при озонировании» обоснованы основные положения процесса озонобразования посредством коронного разряда и возможные пути повышения эффективности электроозонаторных установок. Проведя анализ средств для обеззараживания и улучшения показателей качества воздушной среды животноводческих помещений, была составлена классификация основных физических способов её регулирования (рисунок 1).

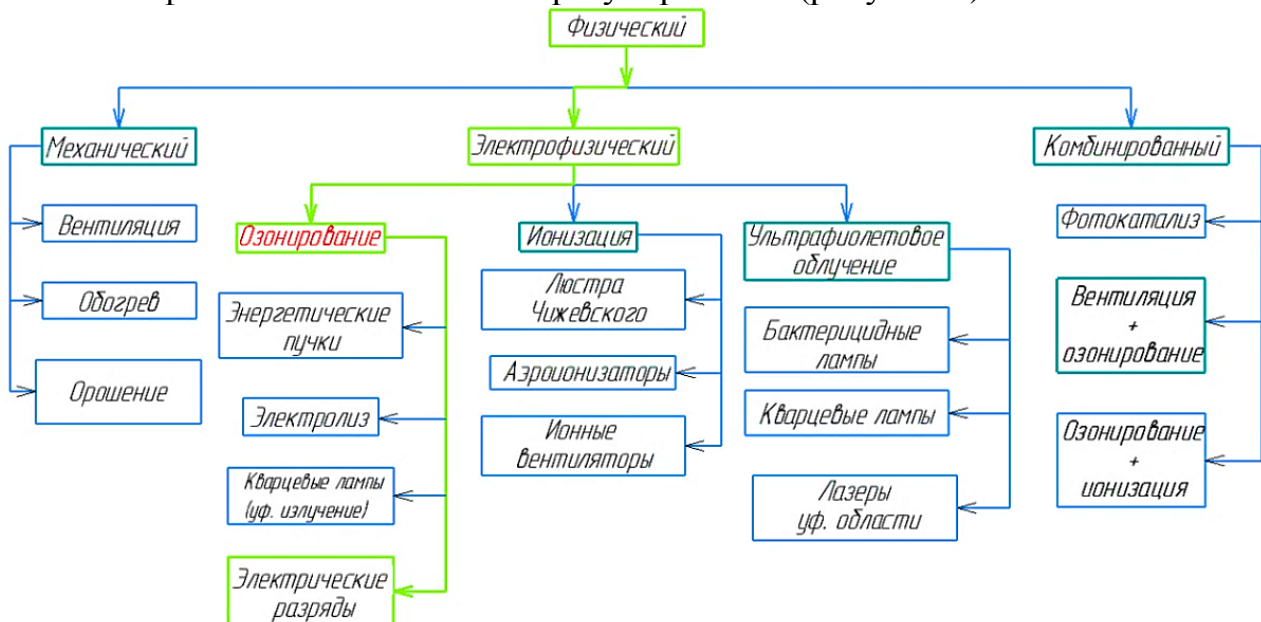


Рисунок 1 – Физические способы регулирования качества воздушной среды

Схема создания озона по принципу коронного разряда, включающая несколько зон создания разряда с использованием системы стержневых потенциальных электродов, закрепленных на одной проводящей плоскости и расположенных над другой заземленной проводящей плоскостью, представлена

физической моделью (рисунок 2). Условно её можно представить как деформированный плоский конденсатор согласно формулы:

$$C_{пл.} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{h_1}, \quad (1)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость прослойки, Ф/м; ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м; S – площадь пластины, м²; h_1 – расстояние между электродом и проводящей плоскостью (толщина диэлектрической прослойки), мм.

В системе «штыревой электрод-проводящая плоскость» установлены электроды с остриём в виде полусферы радиусом R_0 . Конец (острие) штыревого электрода, направленный в сторону плоскости с нулевым потенциалом $\varphi=0$, представляет собой полусферу с радиусом $r=R_0$. Если учесть, что на всей поверхности электрода имеется потенциал φ , то для упрощения анализа напряжённости зоны между концом электрода и плоскостью с потенциалом $\varphi=0$ достаточно рассмотреть случай расположения потенциально-заряженной сферы над проводящей плоскостью (рисунок 3).

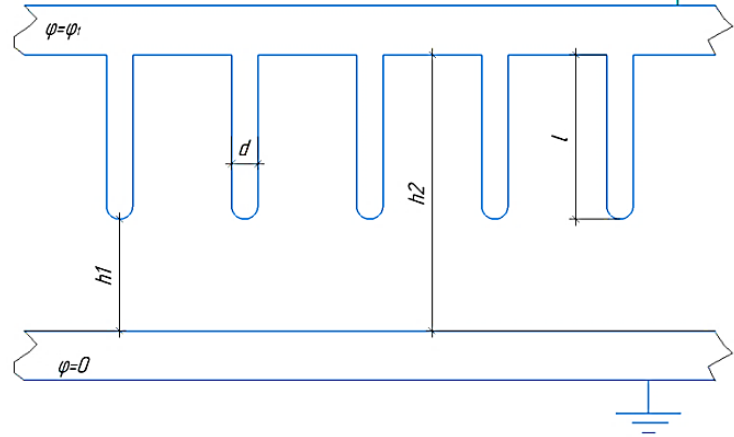


Рисунок 2 – Физическая модель электродной системы
 h_2 – расстояние между пластинами потенциалов, мм;
 d – диаметр электрода, мм; l – длина электрода, мм;
 φ – потенциал поверхности

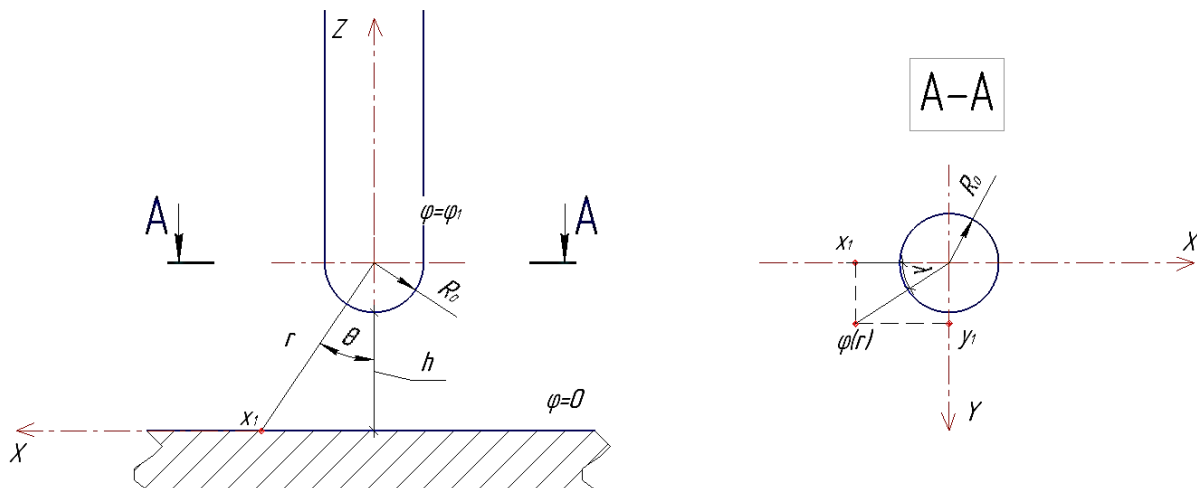


Рисунок 3 – Расположение потенциально-заряженной сферы над проводящей плоскостью
 r – приложенное расстояние к контрольной точке, мм;
 h – расстояние разрядного промежутка, мм;

R_0 – радиус электрода, мм; Θ , λ – углы отклонения, °; φ – потенциал поверхности

Потенциальное поле $\varphi(r)$ между нижней частью проводящей сферы и проводящей плоскостью является решением дифференциального уравнения Лапласа в сферических координатах:

$$\Delta\varphi = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d\varphi}{dr} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \Theta} \cdot \frac{d}{d\Theta} \left(\sin \Theta \frac{d\varphi}{d\Theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \Theta} \cdot \frac{d^2 \varphi}{d\lambda^2}; \quad (2)$$

В случае симметричного поля выражение примет следующий вид:

$$\frac{d\varphi}{d\Theta} = \frac{d\varphi}{d\lambda}; \quad (3)$$

Потенциальное поле $\varphi(r)$ между нижней частью проводящей сферы и проводящей плоскостью представим в следующем виде:

$$\varphi(r) = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{R_0(1 - \cos \Theta) + h} \left(\frac{1}{r} - \frac{\cos \Theta}{R_0 + h} \right); \quad (4)$$

Тогда напряжённость электрического поля представим в виде дифференциального уравнения:

$$E(r) = -\frac{d\varphi(r)}{dr} = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{R_0(1 - \cos \Theta) + h} \cdot \frac{1}{r^2}; \quad (5)$$

Исходя из вышепредставленного, напряжённость электрического поля по оси шара, при условии, что $\cos \Theta = 1$, определим по следующей формуле:

$$E(0, r) = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{h} \cdot \frac{1}{r^2}; \quad (6)$$

Стоит отметить, что при соблюдении условий $r=R_0$, $r=R_0+h$ уравнение будет иметь следующий вид:

$$E(0, R_0) = \varphi_1 \frac{R_0 + h}{h} \cdot \frac{1}{R_0} = \varphi_1 \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{R_0} \right); \quad (7)$$

$$E(0, R_0 + h) = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{h} \cdot \frac{1}{(R_0 + h)^2} = \varphi_1 \frac{R_0}{h(R_0 + h)} = \varphi_1 \frac{1}{h(1 + \frac{h}{R_0})}; \quad (8)$$

Тогда разность показателей напряжённости электрического поля в конкретном ограничивающем условии будет иметь следующий вид:

$$E_0 - E_1 = \varphi_1 \frac{R_0 + h}{hR_0} - \frac{R_0}{h(R_0 + h)} = \varphi_1 \frac{(R_0 + h)^2 - R_0^2}{hR_0(R_0 + h)} = \varphi_1 \frac{h(2R_0 + h)}{hR_0(R_0 + h)}; \quad (9)$$

Для оптимизации расчётов обратимся к следующему выражению:

$$E_0 - E_1 = \varphi_1 \frac{2R_0 + h}{R_0(R_0 + h)} > 0. \quad (10)$$

Как показали исследования, напряжённость электрического поля, создаваемого, стержневым электродом над проводящей плоскостью будет зависеть от угла отклонения Θ между вертикальной осью и точкой на проводящей плоскости. Максимальное значение напряжённости электрического поля, исходя из формулы (7), будет находиться на поверхности проводящей сферы электрода в точке при следующих условиях $\Theta=0$; $r=R_0$. Проведя сравнительный анализ представленных выше выражений, отметим, что они, в свою очередь, отражают основные тенденции влияния параметров системы «штыревой электрод-проводящая плоскость» на напряжённость электрического поля. Следовательно, можно сделать вывод, что с уменьшением радиуса кривизны острия штыревого электрода R_0 напряжённость электрического поля E возрастает; с увеличением разрядного промежутка h от острия штыревого электрода до проводящей плоскости напряжённость электрического поля E уменьшается. Расчётная поверхность зависимости напряжённости электрического поля в разрядном промежутке от радиуса электрода R_0 и расстояния до проводящей поверхности h представлена на рисунке 4.

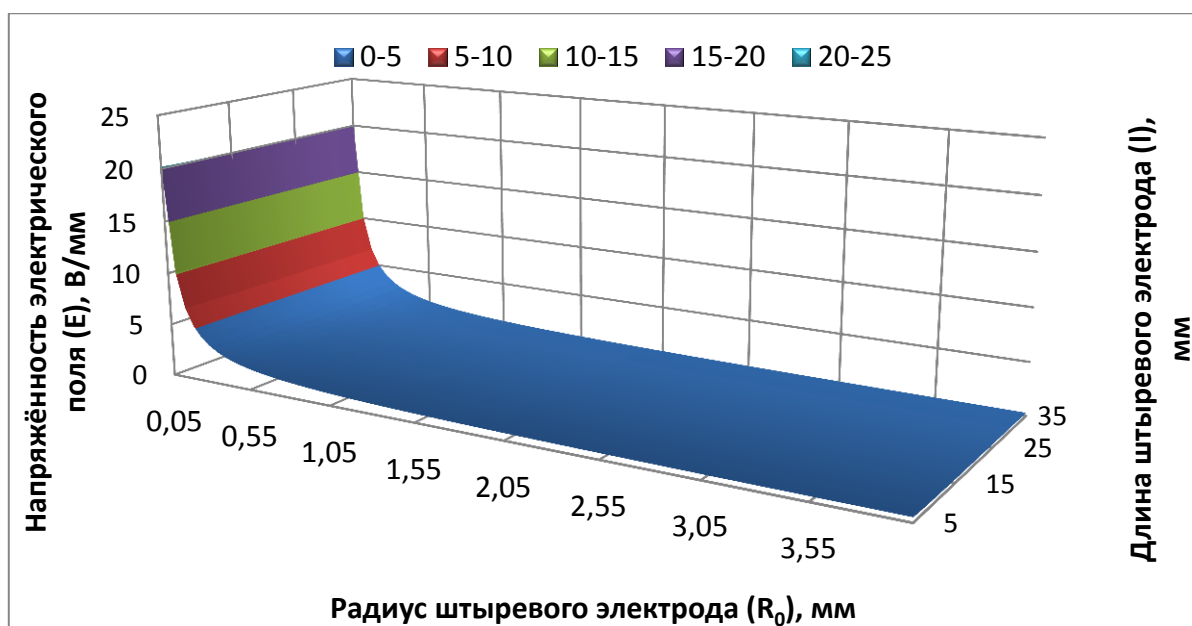


Рисунок 4 – Расчётная поверхность зависимости напряжённости электрического поля в разрядном промежутке от радиуса электрода R_0 и расстояния до проводящей поверхности h

Значимым воздействующим фактором на напряжённость электрического поля E является длина электрода l и его диаметр d . От радиуса штыревого электрода зависит коронный разряд в диапазонах от 1,5 мм и ниже, что также способствует увеличению напряжённости электрического поля. Поэтому для обеспечения напряжённости 5...20 В/мм и равномерного коронного разряда рекомендуем использовать в озонаторных установках на коронном разряде расстояние разрядного промежутка от 25 до 35 мм при радиусе штыревого электрода в диапазоне 0,05...1,5 мм.

Ранее было определено, что максимальная напряжённость будет получена при соблюдении следующего граничного условия $\cos\theta=1$. Исходя из этого, модель распределения напряжённости электрического поля в системе «штыревой электрод-проводящая плоскость» представлена рисунком 5.

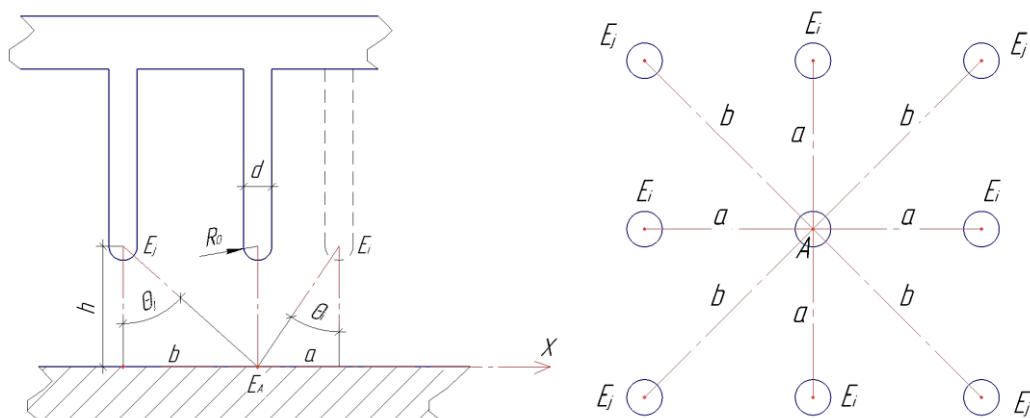


Рисунок 5 – Модель распределения напряжённости в системе «штыревой электрод-проводящая плоскость»

E_A – напряжённость в точке А, В/мм; E_i, E_j – напряжённость на электродах, воздействующих на контрольную точку А, В/мм; θ_i, θ_j – угол отклонения, °; a, b – воздействующее расстояние от электродов к контрольной точки А, мм

Необходимо отметить, что согласно расчётной схеме (рисунок 5) напряжённость электрического поля между остриём электрода по отношению к

проводящей плоскости в любой точке «А» будет результатом взаимодействия основного электрода E_0 и ближайших к нему электродов E_i и E_j :

$$E_A = E_0 + 4E_i + 4E_j, \quad (11)$$

где E_0 – напряжённость электрического поля над основным электродом (контрольная точка «А»), В/мм; E_i – напряжённость электрического поля между основным и ближним электродом, В/мм; E_j – напряжённость электрического поля между основным и дальним электродом, В/мм.

Значения напряжённостей электродов E_i и E_j рассчитываются с учётом расположения соседних электродов по отношению к расчётной точке «А». Опираясь на выражения $Q = (R_0 + h)tg\Theta_i$, получим:

$$E_0 = \varphi_1 \frac{R_0}{h \cdot (R_0 + h)}, \quad (12)$$

$$E_i = \varphi_1 \frac{R_0 \cdot (R_0 + h)}{R_0 \cdot (1 - \cos \Theta_i) + h} \cdot \frac{1}{R_i^2}, \quad (13)$$

$$E_j = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{R_0(1 - \cos \Theta_j)} \cdot \frac{1}{R_j^2}, \quad (14)$$

где Θ_j – угол отклонения дальнего электрода к точке «А», °; Θ_i – угол отклонения ближайшего электрода к точке «А», °; R_i – радиус действия дальнего электрода, приложенный к точке А, мм; R_j – радиус действия ближнего электрода, приложенный к точке «А», мм.

Расчетная поверхность, характеризующая зависимость электрической напряжённости от расстояния разрядного промежутка h и расстояния между электродами, представлена на рисунке 6.

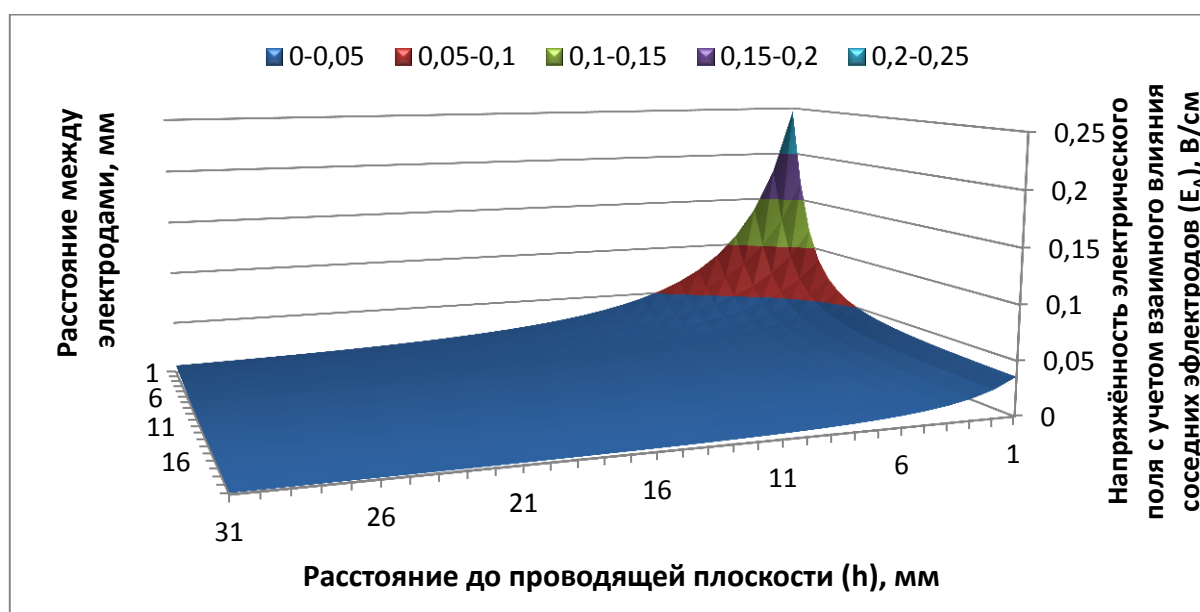


Рисунок 6 – Расчётная поверхность, характеризующая зависимость электрической напряжённости от расстояния разрядного промежутка h и расстояния между электродами

Наиболее значительное влияние на показатель напряжённости в диапазоне от 1 до 25 В/мм в контрольной точке «А» будет при длине электродов до 15 мм и расстоянии между ними до 10 мм. Для рассмотренной системы биполярных электродов (рисунок 5) были получены расчётные выражения, позволяющие оценить её электрическую ёмкость с учётом площади проводящей плоскости S_n .

Для определения ёмкости системы из потенциальных электродов и проводящей плоскости будем использовать следующее выражение:

$$C = \sum C_i + \sum C_j, \quad (15)$$

где C_i – ёмкость между электродом и плоскостью, Φ ; C_j – ёмкость между плоскостью присоединения электродов, Φ .

Так как система состоит из определённого количества штыревых электродов преобразованное выражение ёмкости между электродом и плоскостью будет иметь следующий вид:

$$\sum C_i = NC_i = \varepsilon_0 \frac{\pi R_0^2}{h} \cdot N, \quad (16)$$

где N – количество штыревых электродов в системе, шт.

Для определения ёмкости между плоскостью присоединения электродов будем использовать следующее выражение:

$$C_j = \varepsilon_a \frac{\sum S_j}{H}, \quad (17)$$

где S_j – площадь плоскости присоединения электродов.

Тогда площадь плоскости присоединения электродов составит:

$$S_j = S_\pi - \sum S_i = S_\pi - \pi R_0^2 N, \quad (18)$$

где S_i – площадь электродной поверхности, м^2 ; S_π – общая площадь рабочей площадки, м^2 .

Полученные формулы учитывают параметры электрода, их число и расстояние до проводящей плоскости. Величину электрической ёмкости C в воздушной среде ($\varepsilon=1$) можно оценить по формуле:

$$C = \varepsilon_a \frac{\pi R_0^2}{h} N + \varepsilon_a \frac{S_\pi - \pi R_0 N}{l+h} = \varepsilon_0 \frac{S_\pi}{l+h} + \varepsilon_0 \pi R_0 N \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{l+h} \right), \quad (19)$$

Расчётная поверхность зависимости электрической ёмкости от длины электрода и их количества представлена на рисунке 7.

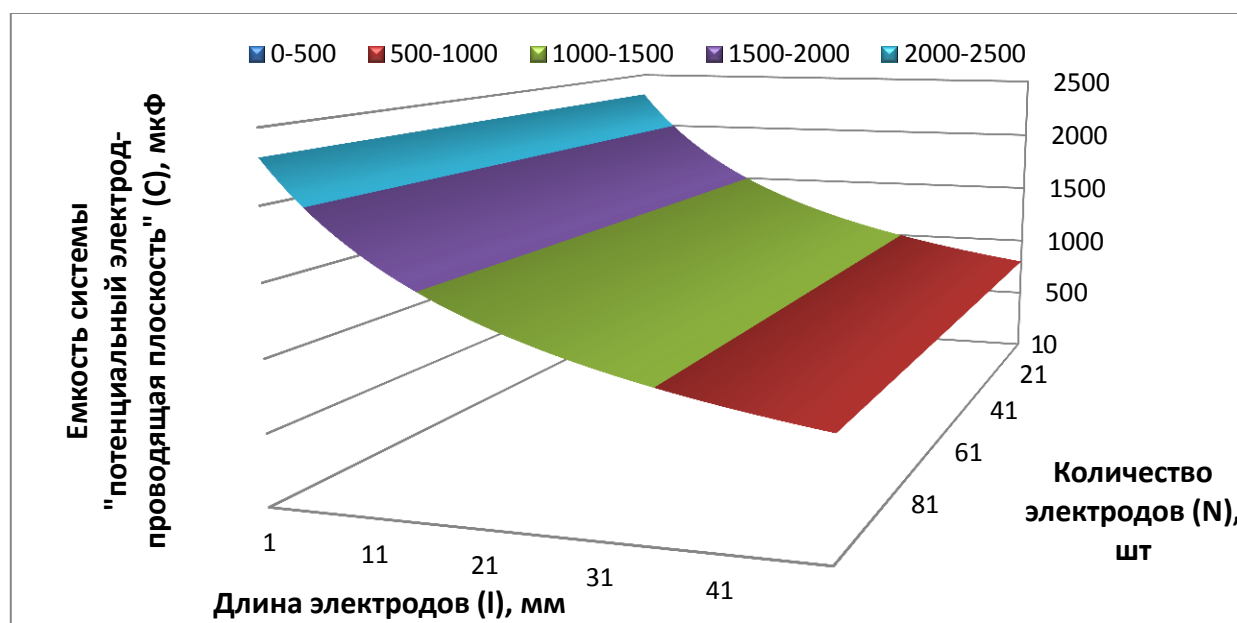


Рисунок 7 – Расчётная поверхность зависимости электрической ёмкости C от длины электрода l и их количества N

Наиболее значительное влияние на показатель электрической ёмкости системы из потенциальных штыревых электродов и проводящей плоскости осуществляется при длине электрода до 35 мм, после чего система будет стремиться к установившемуся показателю электрической ёмкости.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований электроозонирования воздушной среды» рассмотрена общая методика экспериментальных исследований, и представлены основные планы многофакторного эксперимента. Целью экспериментальных исследований являлось обоснование режимно-конструктивных параметров электрического озонатора воздуха животноводческих (производственных) помещений. На основе проведённых исследований для осуществления озонирования воздушной среды и проведения дальнейших экспериментальных исследований разработана новая конструкция электрического озонатора-излучателя (рисунок 8) на коронном разряде, представляющая собой автономный модуль. Техническая новизна разработанного устройства подтверждается патентами на полезную модель № 204184; №205379 и на изобретение № 2787881.

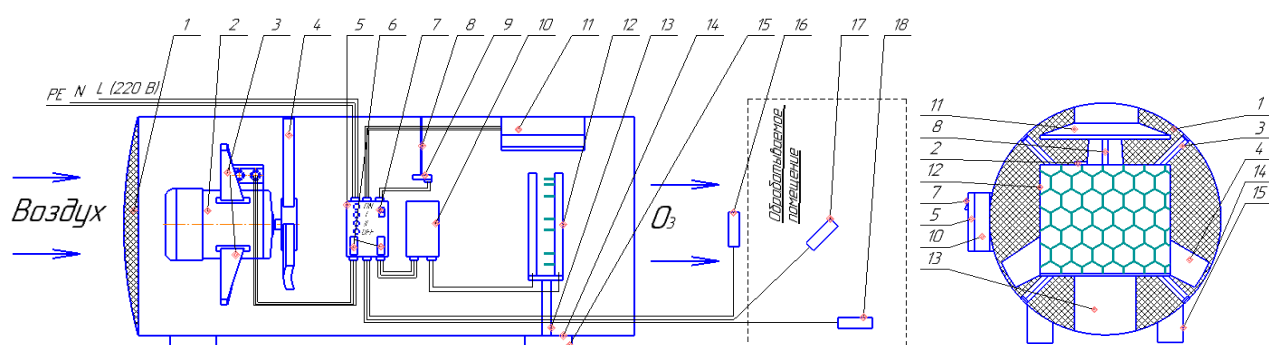


Рисунок 8 – Схема разработанной конструкции озонатора-излучателя

- 1 – защитная сетка; 2 – электродвигатель; 3 – лапки крепления электродвигателя;
 4 – лопасти вентилятора; 5 – блок управления; 6 – предохранители;
 7 – кнопка включения/выключения; 8 – кронштейн крепления; 9 – вакуумный флюгер;
 10 – регулируемый генератор высокого напряжения; 11 – компрессор; 12 – излучатель;
 13 – кронштейн крепления; 14 – озоностойчивый корпус; 15 – прорезиненные ножки;
 16 – датчик озона; 17 – датчик контроля озона; 18 – датчик контроля температуры воздуха

Для эффективной работы разнопотенциальных электродов и повышения производительности устройства по выходу газообразного озона была разработана конструкция излучателя в составе автономного модуля электрического озонатора воздуха. Конструктивно излучатель выполнен в виде двух керамических оснований с закрепленными на них вольфрамовыми электродами, на одном основании в виде сетки, имеющую сотовую форму ячейки, на другом в виде иглы. Электротехническая керамика служит для более эффективного охлаждения электродов и обеспечения диэлектрической прослойки с целью предотвращения нерегулируемого срыва коронного разряда на корпус устройства. Конструкция разработанного излучателя предусматривает регулировку воздушного зазора между разнопотенциальными электродами, благодаря чему обеспечивается регулировка производительности излучателя по озону на одном источнике высокого напряжения и повышает эффективность работы озонатора в целом.

Схема излучателя электроозонатора (а) и внешний вид (б) представлены на рисунке 9.

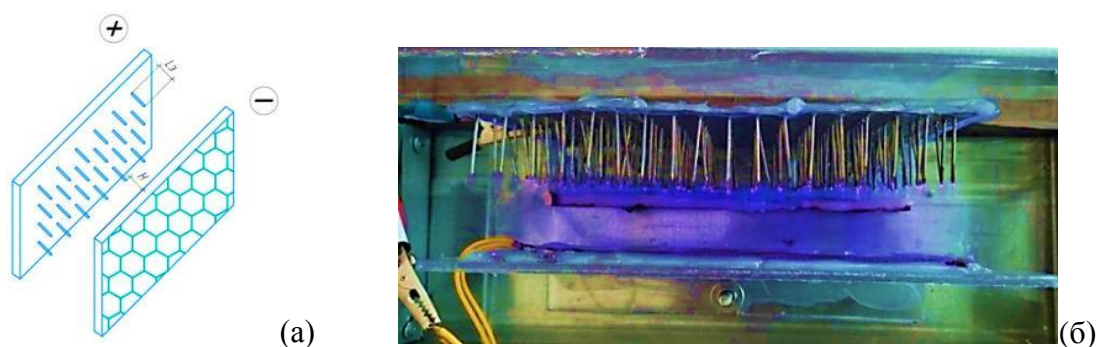


Рисунок 9 – Схема излучателя электроозонатора (а) и внешний вид (б)
 L – длина электрода; H – расстояние от электрода до проводящей плоскости

Экспериментальный образец автономного модуля электрического озонатора-излучателя воздуха и схема экспериментального стенда представлены на рисунках 10 и 11.

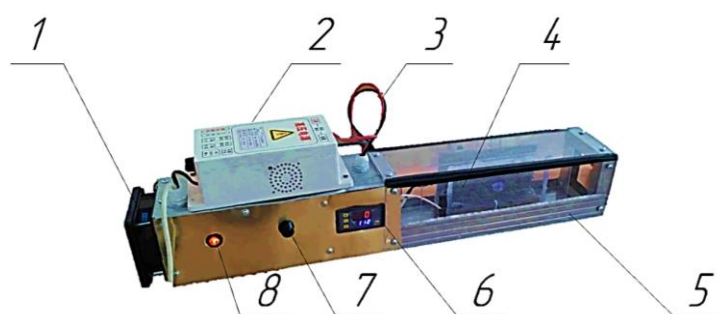


Рисунок 10 – Экспериментальный образец автономного модуля электроозонатора
 1 – вентилятор;
 2 – генератор высокого напряжения;
 3 – экранированные провода;
 4 – модуль излучателя;
 5 – корпус электроозонатора;
 6 – программируемое реле времени;
 7 – регулятор скорости вращения вентилятора;
 8 – тумблер включения/выключения питания

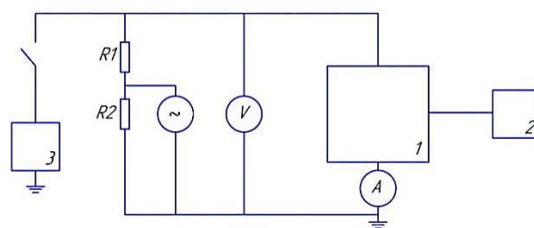


Рисунок 11 – Схема экспериментального стенда
 1 – электрический озонатор воздуха;
 2 – анализатор озона;
 3 – генератор высокого напряжения;
 $R1; R2$ – делитель напряжения;
 \sim – осциллограф;
 V – вольтметр (0...30 кВ);
 A – амперметр (0...999 мА)

На базе экспериментального образца собран стенд, позволяющий измерить основные электрические показатели, определить их взаимосвязи с производительностью озонатора и его эффективным режимом работы. Для измерения режимов работы установок и параметров воздушной среды были использованы измерительные средства: мультиметр (DT 9205A), киловольтметр (C197), миллиамперметр (АПТ-1а), анемометр (Smart Sensor AR816+), анализатор озона (WELUOT DM509-O3; Элан O3) и газоанализаторы (Smart Sensor ST8900; Smart Sensor AR8500; JLDG JD-3002), цифровой штангенциркуль (Inforce 06-11-39), пирометр (Kraftool TRM-1000). Эксперименты проводились при реализации многофакторного эксперимента с учётом границ и интервалов варьирования воздействующих факторов в кодированных и натуральных переменных.

В четвертой главе «Анализ результатов экспериментальных исследований по электроозонированию воздушной среды» представлены результаты экспериментальных исследований работы озонатора-излучателя.

Для более подробного исследования зависимости концентрации газообразного озона (y_1) и температуры электродов (y_2) в зависимости от

натуральных значений напряжения на излучателе (x_1), разрядного промежутка (x_2) и продолжительности работы автономного модуля электроозонатора (x_3) был проведен трёхфакторный эксперимент. Значения и интервал варьирования факторов в кодированных и натуральных переменных представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения и интервал варьирования факторов в кодированных и натуральных переменных

Воздействующий варьируемый фактор экспериментального исследования	Значение в кодированных и натуральных переменных			Интервал (Δ)
	-1	0	+1	
Напряжение на излучателе экспериментального образца озонатора-излучателя (x_1), кВ	20	25	30	5
Расстояние между штыревым электродом и проводящей плоскостью (x_2), мм	25	30	35	5
Продолжительность работы экспериментального образца озонатора-излучателя (x_3), мин	0	40	80	40

По экспериментальным данным были получены регрессионные модели влияния:

– разрядного промежутка и напряжения на температуру электродов:

$$z = -19,668 + 0,898x - 0,0146x^2 + 2,451y - 0,045y^2 + 6,846; \quad (20)$$

– продолжительности работы и напряжения на температуру электродов:

$$z = -19668 + 0,898x - 0,015x^2 + 0,111y - 0,0003y^2 + 30,381; \quad (21)$$

– разрядного промежутка и напряжения на концентрацию озона:

$$z = -15,484 + 0,295x + 0,003x^2 + 1,124y - 0,025y^2 - 1,415; \quad (22)$$

– продолжительности работы и напряжения на концентрацию озона:

$$z = -15,484 + 0,295x + 0,003x^2 - 0,022y + 0,00006y^2 + 8,54. \quad (23)$$

Исходя из данных регрессионных уравнений (23)-(26), были построены расчётные поверхности, представленные на рисунках 12-15.

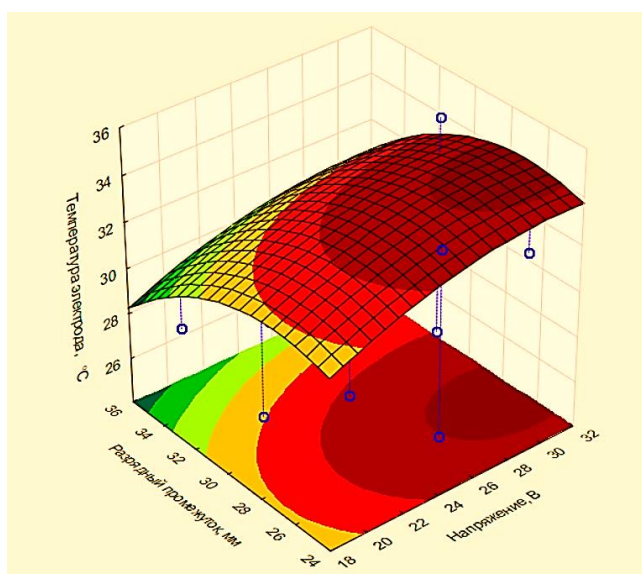


Рисунок 12 – Изменение температуры электродов от напряжения на излучателе и разрядного промежутка

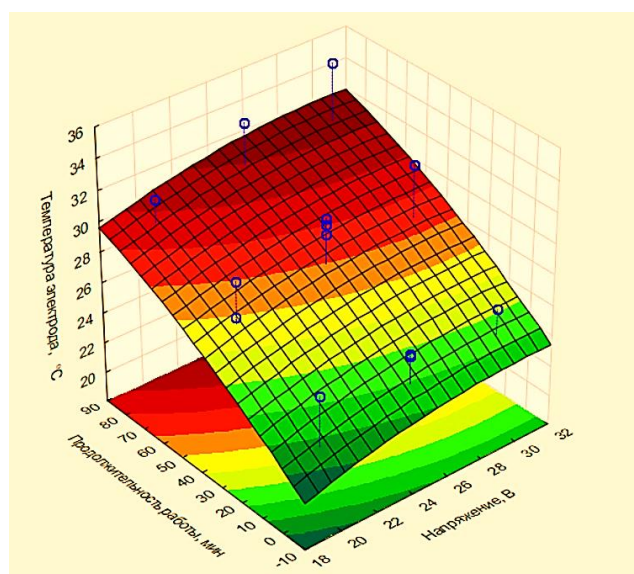


Рисунок 13 – Изменение температуры электродов от напряжения на излучателе и продолжительности работы устройства

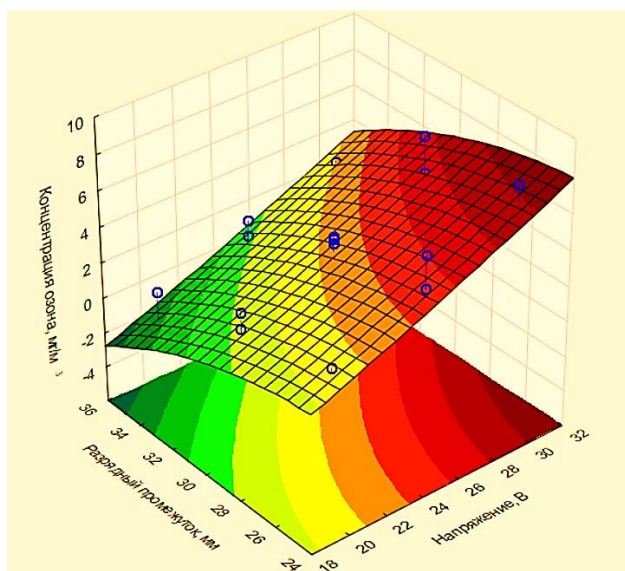


Рисунок 14– Изменение концентрации озона от напряжения на излучателе и разрядного промежутка

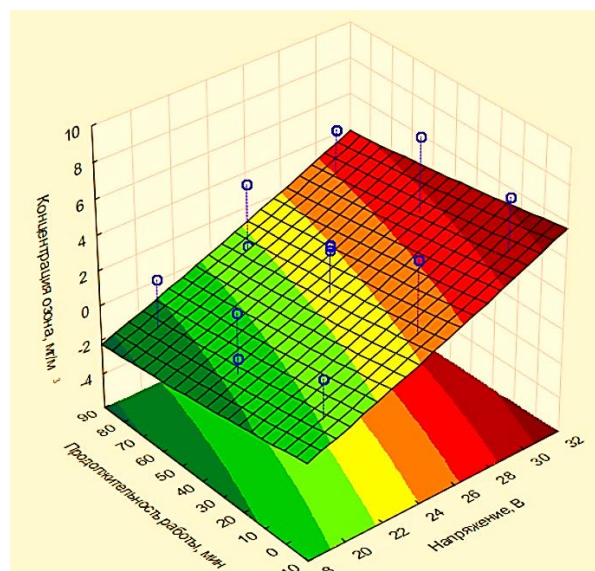


Рисунок 15 –Изменение концентрации озона от напряжения на излучателе и продолжительности работы устройства

Установлено, что на изменение показателя концентрации озона достоверно воздействуют напряжение, разрядный промежуток и продолжительность работы устройства. На температуру электродов достоверно воздействуют продолжительность работы устройства и разрядный промежуток. Для исследуемой конструкции озонатора-излучателя наибольшие значения концентрации озона 10 мг/м^3 достигаются при напряжении 30 кВ и воздушном промежутке между потенциальным электродом и проводящей плоскостью 25 мм. Чтобы обеспечить эффективную работу устройства необходимо поддерживать температуру электродов на излучателе до $+30 \text{ }^\circ\text{C}$. Концентрация озона, генерируемая устройством, постепенно снижается с увеличением продолжительности работы при конкретно заданном напряжении. Через 60 минут производительность озонаторного устройства снижается в среднем на 22...25%, что связано с нагревом штыревых электродов, а также началом распада озона, который переходит в установившийся режим. Количественные соотношения разных показателей в порядке их убывания по частоте (диаграмма Парето) представлены на рисунках 16 и 17.



Рисунок 16 – Количественные соотношения показателей в порядке их убывания по частоте для температуры электродов

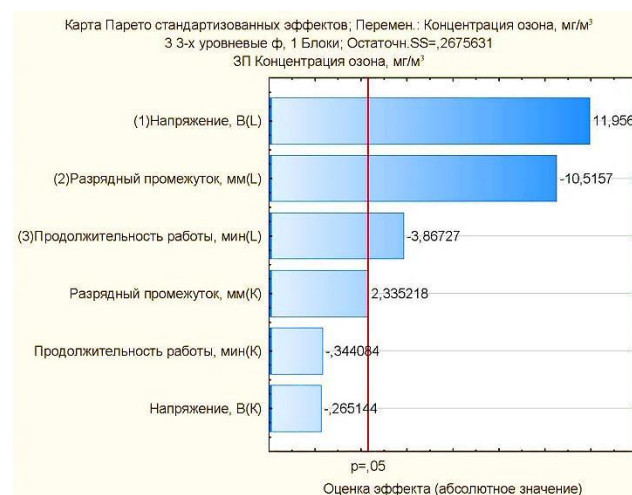


Рисунок 17 – Количественные соотношения показателей в порядке их убывания по частоте для концентрации озона

Для подтверждения работоспособности и оптимизации параметров устройства проведены экспериментальные исследования с измерением показателей воздушной среды в помещении. Осуществлён отбор проб воздушной среды в помещении до озонирования (контроль) и после обработки концентрациями 1; 5 и 10 мг/м³ разработанным электроозонатором. Результаты экспериментальных исследований по изменению общего микробного числа (ОМЧ) и патогенного стафилококка в воздухе представлены на рисунках 18 и 19.

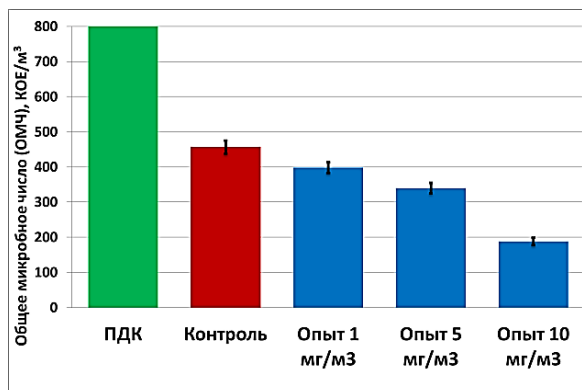


Рисунок 18 – Изменение общего микробного числа в воздушной среде

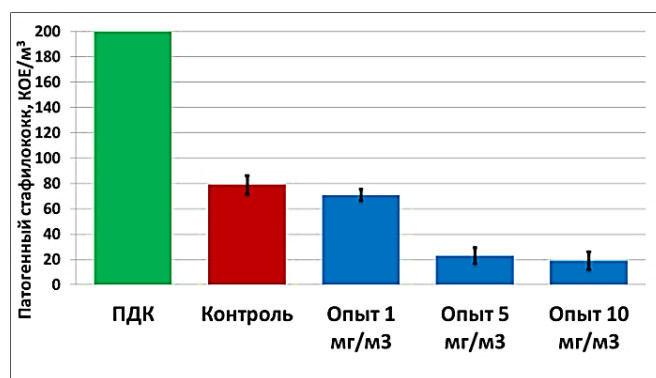


Рисунок 19 – Изменение патогенного стафилококка в воздушной среде

На основе полученных результатов эксперимента, представленных на рисунках 18 и 19, установлено, что озонирование воздушной среды способствует угнетению патогенной микрофлоры. Отмечено, что при концентрациях озон-воздушной смеси в 1 мг/м³, 5 мг/м³ и 10 мг/м³, согласно t-критерия Стьюдента, достоверно снизилось по отношению к контролю: общее микробное число на 12,9% ($p < 0,05$), 25,6% ($p < 0,01$) и 58,9% ($p < 0,001$); патогенный стафилококк на уровне тенденции на 10,1% ($p > 0,05$), достоверно – на 70,9% ($p < 0,01$) и 75,9% ($p < 0,01$), соответственно. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что при увеличении концентрации озона в помещении происходит снижение общего микробного числа и патогенного стафилококка. Эмпирические модели влияния концентрации озона в воздухе на общее микробное число и патогенный стафилококк в воздушной среде в кодированных переменных имеют следующий вид:

$$y = -23,25x^2 + 29,75x + 445,75, \quad (24)$$

$$y = 152,71e^{-0,54x}, \quad (25)$$

где x – концентрация газообразного озона, мг/м³.

Проведены экспериментальные исследования измерения показателей детоксикации по общему микробному числу комбикормов растительного происхождения в ламинарном боксе при обработке воздушной среды озон-воздушной смесью концентрациями 1; 5 и 10 мг/м³. Результаты представлены на рисунке 20. Отмечено, снижение на уровне тенденции общего микробного числа в образцах комбикормов растительного происхождения при концентрации озона 1 мг/м³ на 2,1% ($p > 0,05$), достоверное – при концентрации озона 5 мг/м³ и 10 мг/м³ на 8,0% ($p < 0,05$) и 12,2% ($p < 0,01$) соответственно. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что при осуществлении санитарной обработки воздушной среды на фоне увеличения концентрации озона в производственном помещении происходит снижение общего микробного числа, как в воздухе, так и на поверхностях объектов, размещенных в этом помещении (комбикорм).

Эмпирическая модель влияния озона на ОМЧ в комбикорме растительного происхождения в кодированных переменных имеет вид:

$$y = -x^2 - 3x + 192,5, \quad (26)$$

где x – концентрация газообразного озона, $\text{мг}/\text{м}^3$.

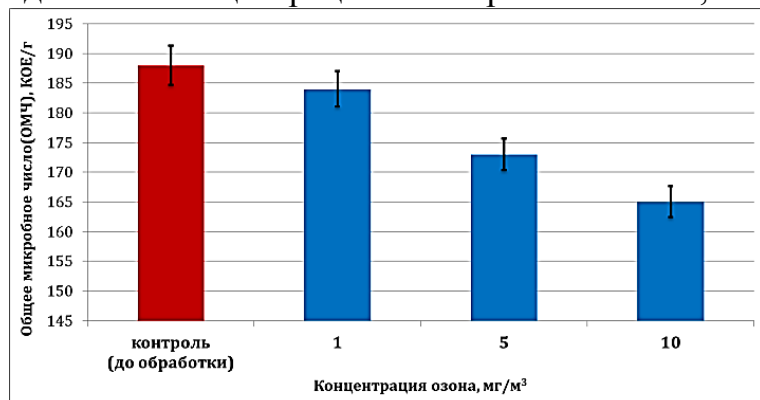


Рисунок 20 – Изменение общего микробного числа в растительных комбикормах

концентрациях 1; 5 и 10 $\text{мг}/\text{м}^3$ в целях безопасности животные были выведены из помещения (уровень озono-воздушной смеси выше ПДК).

Для подтверждения работоспособности и оптимизации параметров разработанного устройства озонатора-излучателя проведены экспериментальные исследования с озонированием животноводческого помещения (площадью 360 м^2). При обработке концентрацией 0,1 $\text{мг}/\text{м}^3$ животные находились внутри помещения, при



Рисунок 21 – Подготовка к обработке воздуха озоном и замеры показателей воздушной среды в животноводческом помещении

Результаты экспериментальных исследований по изменению газового состава в воздухе животноводческого помещения представлены в таблице 2 и рисунках 22 и 23.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований по изменению газового состава в воздухе животноводческого помещения

Показатели воздушной среды	Контроль	После обработки				ПДК	Экспозиция, ч
		0,1 $\text{мг}/\text{м}^3$	1 $\text{мг}/\text{м}^3$	5 $\text{мг}/\text{м}^3$	10 $\text{мг}/\text{м}^3$		
Сероводород, $\text{мг}/\text{м}^3$	3,90±0,42	3,30±0,19	2,70±0,24	1,50±0,14	0,53±0,10	5...10	1,2
Аммиак, $\text{мг}/\text{л}$	13,45±0,31	11,93±0,42	10,15±0,44	4,70±0,37	3,20±0,37	5...20	
Кислород, %	21,1	21,1	21,15	21,3	21,3	20...21,5	

На основе результатов эксперимента, представленных на рисунке 22, можно утверждать, что при осуществлении санитарной обработки воздушной среды животноводческого помещения будет происходить снижение концентрации газообразного аммиака. Установлено его достоверное снижение в воздушной среде животноводческого помещения при концентрациях озона 0,1; 1; 5 и 10 $\text{мг}/\text{м}^3$ на 11,3% ($p < 0,05$), 24,5% ($p < 0,01$), 65,1% ($p < 0,001$) и 76,2% ($p < 0,001$)

соответственно. Согласно рисунка 23, происходит снижение концентрации газообразного сероводорода. Отмечено недостоверное снижение сероводорода в воздушной среде животноводческого помещения при концентрации озона 0,1 мг/м³ на 15,4% ($p > 0,05$), а при концентрациях озона 1; 5 и 10 мг/м³ достоверное – на 30,8% ($p < 0,05$), 61,5% ($p < 0,01$) и 86,4% ($p < 0,001$) соответственно.

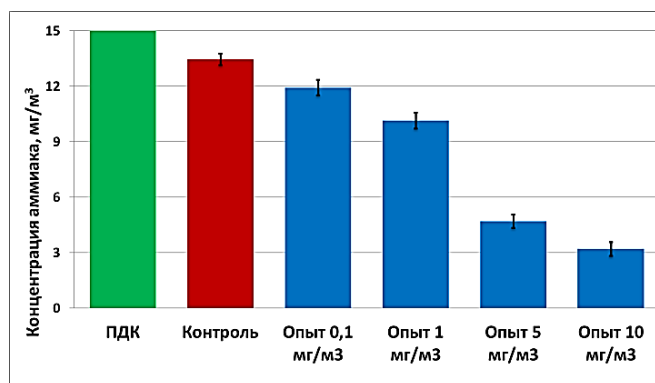


Рисунок 22 – Изменения концентрации аммиака

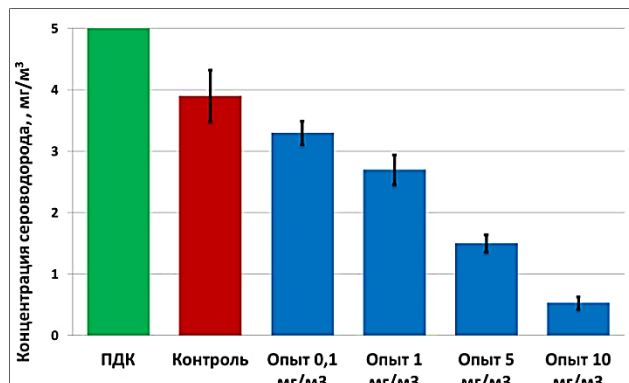


Рисунок 23 – Изменения концентрации сероводорода

Эмпирические модели влияния озона на концентрации аммиака и сероводорода в животноводческом помещении в кодированных переменных имеют вид:

$$y = -0,2593x^2 - 1,2173x + 15,19, \quad (27)$$

$$y = -0,0957x^2 - 0,2797x + 4,278, \quad (28)$$

где x – концентрация газообразного озона, мг/м³.

В пятой главе «Технико-экономическая оценка эффективности электроозонирования воздушной среды в животноводческом помещении» произведена производственная проверка экспериментального образца электроозонатора и выполнен расчёт экономической эффективности по общей методике оценки агроинженерных проектов НИОКР. Расчётные показатели экономической эффективности представлены в таблице 3

Таблица 3 – Показатели экономической эффективности

Показатель	Вариант	
	Базовый «ГРОЗА 80»	Проектный
Капитальные затраты, руб.	76400	33687
Количество животных в помещении, гол.	50	50
Количество заболевших животных, гол.	5	3
Количество павших животных, гол.	2	1
Экономический эффект от сокращения эксплуатационных затрат, руб.	–	6149
Экономический эффект от сокращения технологического ущерба, руб.	32600	51000
Годовой экономический эффект, руб.	32600	57149
Чистый дисконтированный доход, руб.	114962	301781
Индекс доходности проектируемых капиталовложений	1,5	8,9
Срок окупаемости капиталовложений, г.	2,44	0,60

Согласно проведенным технико-экономическим расчётам дополнительные капитальные вложения в систему озонирования воздушной среды для животноводческого помещения (телятника) на 50 голов составили 33687 руб. при годовом экономическом эффекте в 57149 руб. со сроком окупаемости в полгода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведенного анализа способов и технических средств для обеззараживания, улучшения показателей качества воздушной среды и санитарного состояния животноводческих помещений было установлено, что электроозонирование способствует снижению микробной обсемененности до 80%.

2. Установлено, что: с уменьшением радиуса кривизны острия штыревого электрода напряжённость электрического поля E возрастает, а с увеличением разрядного промежутка от острия штыревого электрода до проводящей плоскости напряжённость электрического поля E уменьшается. Напряжённость электрического поля, создаваемого стержневым электродом над проводящей плоскостью, зависит от угла отклонения между вертикальной осью и точкой на проводящей плоскости. Максимальное значение напряжённости будет для одиночного стержня на поверхности сферы в точке при $\theta=0$ и при $r=R_0$.

3. Определено, что значимым воздействующим фактором на напряжённость электрического поля является расстояние до проводящей плоскости. Для обеспечения напряжённости 5...20 В/мм и равномерного коронного разряда рекомендуется использовать в озонаторных установках расстояние разрядного промежутка от 25 до 35 мм при радиусе штыревого электрода в диапазоне 0,05...1,5 мм. Наиболее значительное влияние на показатель напряжённости в диапазоне от 1 до 25 В/мм в контрольной точке «А» будет при длине электродов до 15 мм и расстоянии между ними до 10 мм. Для рассмотренной системы разнопотенциальных штыревых электродов и проводящей плоскости наиболее значительное влияние на показатель электрической ёмкости оказывает длина штыревых электродов до 35 мм.

4. Разработана конструкция озонатора-излучателя воздуха. Особенностью предлагаемого устройства является модуль излучателя, который выполнен в виде двух керамических оснований с закреплёнными на них вольфрамовыми электродами, на одном основании в виде сетки, имеющую сотовую форму ячейки, на другом в виде иглы. Конструкция разработанного излучателя предусматривает регулировку воздушного зазора между электродами, благодаря чему обеспечивается регулировка производительности излучателя по озону на одном источнике высокого напряжения. Сконструированный экспериментальный образец имеет следующие технические характеристики: концентрация озона в области излучателя варьируется в диапазоне от 0,01 до 12 мг/м³; продолжительность работы – 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 4 ч.; потребляемая мощность – 680 Вт.; температурный диапазон от –10 до +35 °С; напряжение питающей сети – 220 В.

5. Проведены экспериментальные исследования процесса электрического озонирования воздушной среды для выявления взаимосвязей и получения экспериментальных и регрессионных зависимостей влияния конструктивных и технологических параметров на режимы работы электроозонатора.

Для исследуемой конструкции озонатора-излучателя наибольшие значения концентрации озона 10 мг/м³ достигаются при напряжении 30 кВ и воздушном промежутке между потенциальным электродом и проводящей плоскостью 25 мм. Чтобы обеспечить эффективную работу устройства необходимо поддерживать температуру электродов на излучателе до +30 °С. Через 60 минут производительность озонаторного устройства снижается в среднем на 22...25%.

Установлено, что при обработке воздушной среды озоном в дозировках 1; 5 и 10 мг/м³ происходит достоверное снижение ОМЧ по отношению к контролю на 12,9%, 25,6% и 58,9% соответственно; при дозировках в 5 и 10 мг/м³ – патогенного стафилококка – на 70,9% и 75,9% соответственно. При осуществлении санитарной

обработки озоном воздушной среды животноводческого помещения будет также происходить детоксикация сыпучих комбикормов в кормушках животных. Отмечено при концентрации озона 5 и 10 мг/м³ достоверное снижение ОМЧ в комбикорме на 8,0% и 12,2% соответственно.

Выявлено, что при осуществлении санитарной обработки воздушной среды животноводческого помещения газообразным озоном происходит снижение концентрации аммиака и сероводорода. Так, при концентрациях озона 0,1; 1; 5 и 10 мг/м³ отмечено достоверное снижение аммиака в воздушной среде животноводческого помещения на 11,3%, 24,5%, 65,1% и 76,2% соответственно, а сероводорода при концентрациях озона 1, 5 и 10 мг/м³ – на 30,8%, 61,5% и 86,4% соответственно.

6. Производственная проверка озонатора-излучателя для оздоровления воздушной среды в животноводческом помещении показала высокую эффективность предлагаемого способа и устройства. Согласно проведенным технико-экономическим расчётам дополнительные капитальные вложения в систему озонирования воздушной среды для животноводческого помещения (телятника) на 50 голов составили 33687 руб. при годовом экономическом эффекте в 57149 руб. со сроком окупаемости в полгода.

Рекомендации производству

При использовании озонатора-излучателя как адаптивной системы со способностью комбинирования с системами вентиляции необходимо согласовывать его производительность с подачей воздушных масс в помещение и учитывать длину воздуховода. Для практической реализации предложены: структурная схема системы озонирования животноводческих помещений, блок-схема управления системой электрического озонирования животноводческих помещений, система электроозонирования в коровнике, интегрированная в систему кондиционирования.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Результаты исследований могут быть использованы при разработке электрических озонаторов воздуха на базе коронирующего разряда для повышения их эффективности. Разработать систему автоматического контроля и регулировки параметров озонатора-излучателя при изменении параметров микроклимата внутри помещения.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Мануйленко, А.Н.** Результаты исследований по разработке электроозонаторного устройства для улучшения показателей качества воздушной среды в животноводческих помещениях / А.Н. Мануйленко // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 2. – С. 118-125. – 1 п.л. (авт. 1 п.л.).

2. **Мануйленко, А.Н.** Результаты исследований по определению параметров электроозонатора для оздоровления воздушной среды в животноводческих помещениях / А.Н. Мануйленко, В.Ю. Страхов, С.В. Вендин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2023. – № 2 (38). – С. 17-24. – 1 п.л. (авт. 0,8 п.л.).

3. **Мануйленко, А.Н.** Конструкция электрического озонатора для обеззараживания воздушных масс в животноводческом помещении / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2022. – № 3 (35). – С. 64-71. – 1 п.л. (авт. 0,9 п.л.).

4. **Мануйленко, А.Н.** Результаты экспериментальных исследований автономного модуля электрического озонатора воздуха для животноводческих

помещений / А.Н. Мануйленко, Ю.Н. Ульянов, С.В. Вендин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2022. – № 4 (36). – С. 42-50. – 1 п.л. (авт. 0,8 п.л.).

5. **Мануйленко, А.Н.** Электроозонатор воздуха для животноводческих помещений / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 1 (29). – С. 57-61. – 0,6 п.л. (авт. 0,5 п.л.).

6. **Мануйленко, А.Н.** Конструкция электрического озонатора воздуха для животноводческих помещений / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Агроинженерия. – 2021. – № 3 (103). – С. 74-79. – 0,8 п.л. (авт. 0,7 п.л.).

7. **Мануйленко, А.Н.** Электроозонирование животноводческих помещений / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Сельский механизатор. – 2019. – № 12. – С. 22-23. – 0,3 п.л. (авт. 0,25 п.л.).

Публикации в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных:

1. Results of research on development of electric air ozonizer for livestock rooms / S. Vendin, **A. Manuylenko**, V. Strakhov // E3S Web of Conferences, 2023, 411, 02018. – 0,54 п.л. (авт. 0,44 п.л.).

Патенты и свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

1. **Мануйленко, А.Н.** Электроозонатор: RU 2787881 C1: МПК C01B 13/11 / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // патентообладатель ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина». – № 2021138949; заявл. 24.12.2021; опубл. 13.01.2023. Бюл. № 2 – 9 с.

2. **Мануйленко А.Н.** Электрический озонатор воздуха: RU 204184 U1: МПК C01B 13/11, F24F 3/16, B01J 7/00, H01T 19/00 / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // патентообладатель ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина». – № 2020142852; заявл. 23.12.2020; опубл. 13.05.2021. Бюл. № 14 – 6 с.

3. **Мануйленко А.Н.** Электрический озонатор воздуха: RU 205379 U1: МПК C01B 13/11 / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // патентообладатель ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина». – № 2020141915; заявл. 23.03.2020; опубл. 13.07.2021. Бюл. № 20 – 5 с.

Публикации в прочих изданиях по теме диссертационной работы:

1. **Мануйленко, А.Н.** Автономный модуль электрического озонатора воздуха для обеззараживания воздушных масс в животноводческих помещениях / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 203-206.

2. **Мануйленко, А.Н.** Автономный модуль электрического озонатора воздуха для оздоровления воздушной среды / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: материалы Международной научной конференции, Майский. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 81-82.

3. **Мануйленко, А.Н.** Автономный модуль электрического озонатора воздуха / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Агротехника и энергообеспечение. – 2022. – № 4(37). – С. 79-87.

4. **Мануйленко, А.Н.** Электрический озонатор воздуха для животноводческих помещений / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Инженерное обеспечение в реализации социально-экономических и экологических программ АПК: сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2022. – С. 18-22.

5. **Мануйленко, А.Н.** Управление и контроль параметров при электроозонировании воздуха в животноводческом помещении / А.Н. Мануйленко // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. – 2021. – № 7. – С. 72-76.
6. **Мануйленко, А.Н.** Конструкция электрического озонатора для обеззараживания воздуха в производственных помещениях / А.Н. Мануйленко // Образование. Наука. Производство: XIII Международный молодежный форум. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 1666-1669.
7. **Мануйленко, А.Н.** Обеззараживание воздуха в производственных помещениях / А.Н. Мануйленко // Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Саратов: Пензенский ГАУ, 2020. – С. 311-314.
8. **Мануйленко, А.Н.** Электроозонирование воздуха птицеводческих помещений / А.Н. Мануйленко // Актуальные вопросы энергетики: материалы 7-й всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной профессиональному празднику «День энергетика». – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2020. – С. 71-73.
9. **Мануйленко, А.Н.** Управление и контроль параметров при электроозонировании воздуха в животноводческом помещении / А.Н. Мануйленко // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. – 2020. – № 2. – С. 42-46.
10. Вендин, С.В. Санитарная обработка животноводческих помещений озоном / С.В. Вендин, **А.Н. Мануйленко** // Энергосберегающие технологии в АПК: сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Ярославль: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», 2019. – С. 17-21.
11. **Мануйленко, А.Н.** Озонирование и аэроионизация воздушной среды в животноводческих помещениях / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России: материалы Национальной научно-практической конференции. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. – С. 263-267.
12. **Мануйленко, А.Н.** Электроозонирование воздуха в животноводческих помещениях / А.Н. Мануйленко // Студенчество России: век XXI: материалы VI Всероссийской молодёжной научно-практической конференции. – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2019. – С. 120-124.
13. **Мануйленко, А.Н.** Управление процессом электроозонирования в животноводческом помещении / А.Н. Мануйленко // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2, № 4. – С. 293.
14. **Мануйленко, А.Н.** Перспективы применения озона для очистки воздуха в животноводческих помещениях / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. – С. 185-189.
15. **Мануйленко, А.Н.** Озонирование воздуха в животноводческих помещениях / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Международный молодежный аграрный форум «Аграрная наука в инновационном развитии АПК»: материалы международной научно-практической конференции. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. – С. 38-43.