

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»
(ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева)

На правах рукописи

МАНУЙЛЕНКО АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

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

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение
агропромышленного комплекса

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Сторчевой Владимир Федорович

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. ОБЗОР СПОСОБОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ.....	11
1.1 Способы обеззараживания и улучшения показателей качества воздушной среды животноводческих помещений	11
1.2 Применение озона для обеззараживания и улучшения показателей качества воздушной среды в животноводческих помещениях.....	15
1.2.1 Физико-химические свойства озона	15
1.2.2 Перспективы применения озона в животноводстве.....	18
1.3 Технические средства, способы регулирования процесса озonoобразования и электроозонирования воздушной среды животноводческих помещений	22
1.4 Выводы по главе.....	38
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИИ.....	40
2.1 Общие вопросы озonoобразования	40
2.1.1 Способы образования озона.....	40
2.1.2 Применение коронного разряда	43
2.1.3 Физическая модель электродной системы	46
2.2 Исследование напряжённости электрического поля в системе разнопотенциальных электродов при коронном разряде	47
2.2.1 Расчет напряжённости электрического поля в системе штыревой электрод - проводящая плоскость	47
2.2.2 Расчет электрической ёмкости системы штыревой электрод- проводящая плоскость.....	52
2.2.3 Расчет электрической ёмкости для системы из потенциальных электродов и проводящей плоскости.....	54

2.2.4 Энергетическая оценка напряжённости электрического поля с учётом взаимного влияния соседних электродов	58
2.2.5 Численный эксперимент и анализ параметров электрического поля.....	62
2.3 Расчет технологических параметров электрического озонатора-излучателя воздуха.....	65
2.4 Выводы по главе.....	71
Глава 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ..	74
3.1 Разработка конструкции электрического озонатора-излучателя.....	74
3.1.1 Режимы управления автономным модулем озонатора-излучателя....	80
3.2 Общая программа экспериментальных исследований.....	82
3.3 Методика проведения экспериментальных исследований по определению технических параметров электрического озонатора-излучателя воздуха	90
3.4 Методика проведения экспериментальных исследований процесса озонирования помещения с применением электрического озонатора-излучателя воздуха.....	101
3.5 Выводы по главе.....	107
Глава 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИЮ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ	109
4.1 Анализ результатов экспериментальных исследований по определению технических параметров электрического озонатора-излучателя воздуха	109
4.2 Анализ результатов экспериментальных исследований процесса озонирования помещения с применением электрического озонатора-излучателя воздуха.....	118
4.3 Анализ результатов экспериментальных исследований процесса озонирования животноводческого помещения с применением электрического озонатора-излучателя воздуха	125
4.4 Выводы по главе.....	128

Глава 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ	130
5.1 Расчёт показателей технико-экономической эффективности электроозонирования воздушной среды.....	130
5.2 Выводы по главе.....	139
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	143
ПРИЛОЖЕНИЯ	159

ВВЕДЕНИЕ

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 озонирование. 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 озонном, 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 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 натурального и численного эксперимента, базирующихся 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 натуральных 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.

Глава 1. ОБЗОР СПОСОБОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

1.1 Способы обеззараживания и улучшения показателей качества воздушной среды животноводческих помещений

Под микроклиматом понимают взаимосвязанную систему как физических, так и химических факторов воздушной среды, которая может оказывать комплексное воздействие на организм животных. Основными составляющими, определяющими качество воздушной среды животноводческого помещения, являются: температурно-влажностный параметр, движение воздушных масс, химический состав, бактериальная обсемененность, наличие взвешенных пылевых частиц, ионизация и др. [1, 2]

При контроле микроклимата производственного (животноводческого) помещения особое внимание уделяют химическому составу воздушной среды, определяя в ней концентрации таких вредных веществ, как: углекислый газ (CO_2), аммиак (NH_3), сероводород (H_2S), оксид углерода (CO) и др. Стоит отметить, что превышение предельно-допустимой концентрации (ПДК) этих газов в воздушной среде может способствовать снижению продуктивности и сопротивляемости организма животного к заболеваниям.

Бактериальная обсеменённость воздуха животноводческих помещений во многом зависит от вида и способа содержания животных, технологии и плотности размещения, эффективности работы вентиляции и канализации в помещении. Исходя из этого следует, что изучение и систематический контроль за численностью микрофлоры воздуха помещений, а также создание условий, препятствующих возникновению аэрогенных инфекций, будет способствовать повышению сохранности поголовья. Как правило, оценку воздуха проводят по показателям общей микробной обсемененности (ОМЧ) и содержанию санитарно-показательных микроорганизмов [3].

Параметры воздушной среды животноводческого помещения – аэродисперсной системы – формируются системой вентиляции, совмещенной с отоплением и химическими способами обработки воздуха. Как правило, существующие системы не обеспечивают качество воздушной среды по газовому и бактериальному составу, поэтому возникает необходимость в разработке технических средств и способов её обработки [4].

Для оздоровления воздушной среды в животноводческих помещениях необходимо применять очистку и дезинфекцию. На каждом сельскохозяйственном предприятии должны быть разработаны инструкции по осуществлению обработки воздушной среды в производственных помещениях, так как данные мероприятия являются неотъемлемой частью соблюдения санитарно-гигиенических норм. Для каждой отрасли народного хозяйства разработаны собственные санитарные требования и правила, которые учитывают особенности того или иного производства. Однако, в целом, все они подчиняются единым нормам и требованиям и подлежат контролю со стороны государственных ведомств [5, 6]. Классификация видов обработки воздушной среды в животноводческих помещениях представлена в виде блок-схемы (рисунок 1.1) [7].

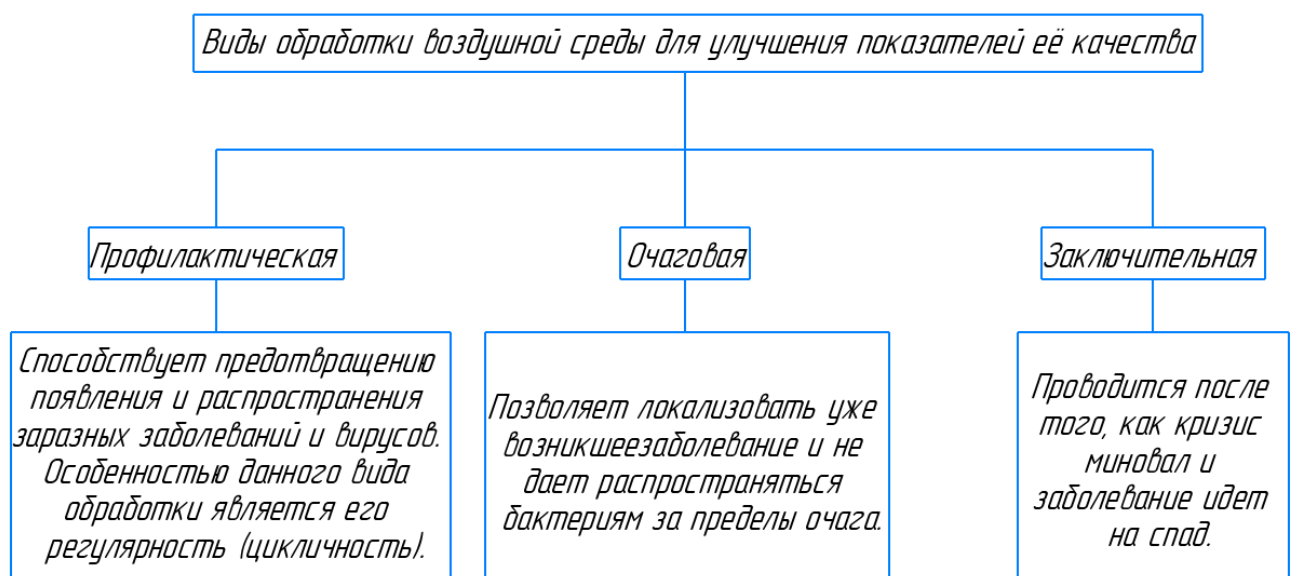


Рисунок 1.1 – Классификация видов обработки воздушной среды в животноводческих помещениях

Основные способы регулирования качества воздушной среды в животноводческих помещениях проиллюстрированы на рисунке 1.2.

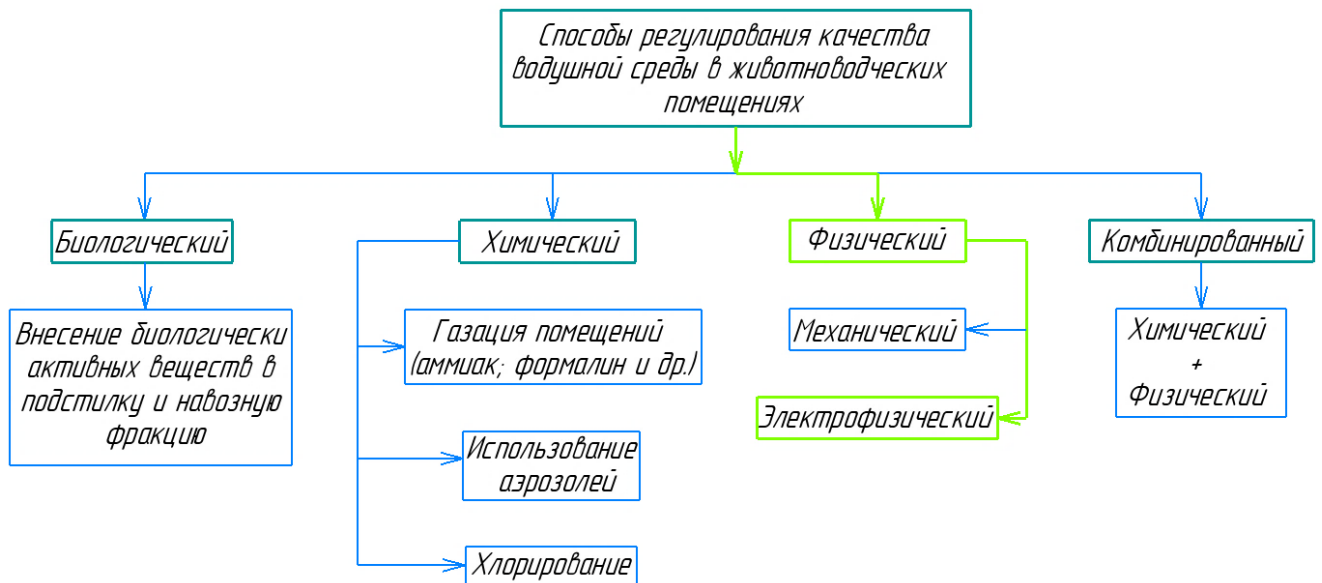


Рисунок 1.2 – Основные способы регулирования качества воздушной среды в животноводческих помещениях

Биологический способ обеспечивает качество воздушной среды путём уничтожения патогенной микрофлоры посредством применения специализированных биологически активных препаратов, в составе которых находится специально выделенная группа микроорганизмов-антагонистов. Использование биологически активных препаратов в производственных помещениях имеет строго специфическое назначение и позволяет снизить наличие патогенной микрофлоры, которая выступает источником заразных болезней и выделяет в воздушную среду вредные химические соединения такие, как аммиак [8, 9].

Химический способ основан на использовании специализированных химически активных веществ, которые взаимодействуют с поверхностями, воздушной среды и субстратами, находящимися в животноводческом помещении, вследствие чего происходит гибель патогенной микрофлоры и разрушение некоторых вредных газов и веществ. В настоящее время химические средства для обеспечения качества воздушной среды широко используются в антисептике и противоэпидемической практике. Как правило, эти вещества можно использовать

в следующих видах: специальные водные растворы, суспензии и эмульсии, пасты, порошки, аэрозоли, лаки и краски [10, 11, 12].

Химические дезинфицирующие средства, применяемые для влажной дезинфекции, подразделяют на следующие группы веществ: щёлочи, кислоты, хлор- и формальдегидсодержащие препараты, соединения йода, четвертичные аммониевые и перекисные соединения, фенолы. Существует несколько классификаций современных химических дезинфицирующих средств: по типам активности (против бактерий, грибов и вирусов), форме выпуска и действующему веществу [13-17].

К недостаткам химического способа обработки воздушной среды относится то, что после обработки и заселения помещения животными бактериальная загрязнённость быстро достигает исходного уровня. Кроме того, многие дезинфицирующие средства оказывают негативное влияние на материалы, с которыми они контактируют [4].

Физический способ обеспечивает качество воздушной среды путем применения высоких и низких температурных режимов внутри производственного помещения, изменения скорости движения воздушных масс и скорости вентилирования, облучения, токов высокой частоты и ультразвука. Этот способ классифицируют на две основные группы: механическая и электрофизическая обработка [18-22].

Механическая обработка направлена на удаление грязи, пыли, жира, органических частиц с поверхностей и из воздуха механическим путём. Для этого применяют мытьё, проветривание, влажную уборку, удаление заражённого слоя грунта, сбор пыли, вентиляцию воздуха. Этот вид обработки полностью не освобождает от болезнетворных микроорганизмов и вредных газов, но значительно снижает их количество. Его достоинства – это доступность и простота [23-28].

Электрофизический способ основан на обработке воздушной среды путём применения токов различной частоты и напряжения, излучений различного спектра (ультрафиолетовое, инфракрасное, гамма- и бета-лучи) [17, 29, 30].

Среди электрофизических способов, гигиенический эффект озона наиболее предпочтителен. Последний, взаимодействуя со многими органическими и неорганическими соединениями среды, оказывает дезодорирующее и дезинфицирующее действие, в том числе, стимулирующее действие на биологические объекты [4].

Комбинированный способ заключается в использовании нескольких методов одновременно и, как правило, является самым эффективным в обеззараживании и улучшении качества воздушной среды производственных помещений благодаря разным сочетанным воздействиям на различные патогены и вредные вещества [17, 22-25].

1.2. Применение озона для обеззараживания и улучшения показателей качества воздушной среды в животноводческих помещениях

1.2.1 Физико-химические свойства озона

Согласно российской классификации, газ озон (O_3) относится к веществам наивысшего первого класса опасности, является сильным окислителем, может представлять опасность для живых организмов, способен устранять вредные запахи [31, 32, 33]. Опираясь на ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», можно подчеркнуть, что данный газ в концентрации $0,1 \text{ мг/м}^3$ является безвредным для человека и животных [34]. В естественных условиях его концентрация может составлять порядка $0,15 \text{ мг/м}^3$. Для среднего порога чувствительности человеческого обоняния достаточна концентрация озона $0,01 \text{ мг/м}^3$.

Озон (от греческого слова *ózon* – «пахнущий») – это газ бледно-голубого цвета с характерным запахом, молекула которого является аллотропическим видоизменением кислорода, диамагнитна и состоит из трёх атомов, имеет уголковую конфигурацию (рисунок 1.3) [35, 36, 37.] При концентрации свыше 12 мг/м^3 он может приобретать не ярко выраженный фиолетовый оттенок, а в малых концентрациях – бесцветен. Озон может образовываться под действием

электрического разряда, вследствие протекания химических реакций, а также под действием ультрафиолетового облучения. В природных же условиях, он образуется в воздухе при грозовых разрядах, а также в результате фотохимической реакции при действии ультрафиолетового излучения Солнца [37]. В приземном слое атмосферы содержание озона находится в пределах 10^{-7} - $10^{-5}\%$ [38]

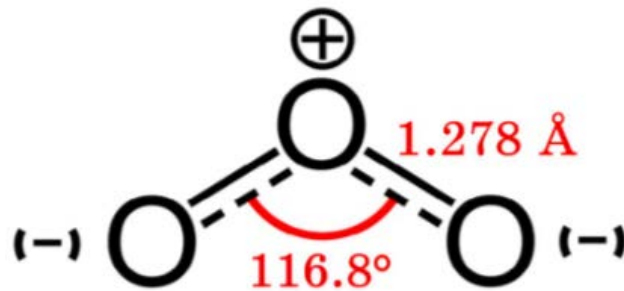


Рисунок 1.3 – Химическая структура молекулы озона

Молекула озона неустойчива, в течение 20-30 минут диссоциирует до кислорода (O_2), в окружающей среде в 1,5 раза тяжелее воздуха. Средний показатель диссоциации молекулы озона в воздушных массах в кислород представлен в таблице 1.1 [33, 34]

Таблица 1.1 – Средний показатель диссоциации молекул озона в воздушных массах в кислород

Температура, °С	Время диссоциации, ч
50	0,15
40	0,25
35	0,5
30	1
20	1,5
0	72
-25	192
-35	432

Из данных таблицы 1.1 следует, что снижение заполнения озоном воздушного пространства, т.е. увеличение скорости его перехода в двухатомный кислород, возможно при увеличении температуры. Таким образом, чем ниже температура, тем дольше будет проходить полураспад молекул озона [35, 36].

Также стоит отметить, что после завершения обработки воздушной среды озоном, в целях снижения концентрации последнего до предельно допустимой ($0,1 \text{ мг/м}^3$), необходимо активное вентилирование (проветривание) в течение 5-9 часов. Для ускорения процесса диссоциации молекул озона в кислород в естественной среде можно воспользоваться либо естественной, либо принудительной вентиляцией, тем самым, сократив время полураспада до 0,5-1 часа. При этом, чем дольше будет время обработки озоном помещения определенной концентрации, тем более эффективным будет воздействие озона на патогенную микрофлору, а, следовательно, и общее оздоровление воздушной среды. Некоторые физико-химические свойства озона приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Физико-химические показатели озона

Показатель	Значение
Температурная плавления, °С	-197
Температура кипения, °С	-112
Критическая температура, °С	-12
Относительная плотность по воздуху	1,62
Потенциал ионизации молекулы, эВ	12,52

Для получения того или иного эффекта при обработке воздушной среды озоном необходимо выдержать определенную концентрацию в строго отведенный промежуток времени. Концентрация озона и его экспозиция при обработке воздушной среды в производственном (животноводческом) помещении представлены в таблице 1.3 [31, 33, 36].

Таблица 1.3 – Параметры электроозонирования воздушной среды в производственном (животноводческом) помещении

Объект	Концентрация озона, мг/м ³	Экспозиция, мин.	Ожидаемый результат
Микробы	1,5...2	15–30	Уничтожение на 100%
Бактерии и вирусы	12...15	45–60	Уничтожение на 100%
Насекомые	2...3	120–150	Уничтожение в период до 3 дней после обработки
Плесень	28...30	60–90	Подавление размножения
	1200...1500	60–90	Полное блокирование спорообразования и размножения
	15000...20000	60–90	Разрушение спор
Неприятные запахи	10...12	60–120	Изменение молекулярной формы и устранение неприятного запаха

1.2.2 Перспективы применения озона в животноводстве

В настоящее время известно о широком применении озона. Однако, имеющиеся многочисленные данные об использовании озонирования относятся, главным образом, к обработке водных ресурсов, при хранении пищевых продуктов, овощей и фруктов, для устранения неприятных запахов и др. А опыт применения данной электротехнологии для обработки воздушной среды животноводческих помещений незначителен [4, 28, 35, 39, 40, 41, 42].

Исследования по использованию озона для обработки воздушной среды жилых и производственных помещений начали проводиться лишь в 70-х годах прошлого столетия [4, 43]. И до сегодняшнего дня применение газообразного озона для оздоровления и улучшения показателей качества воздушной среды

актуально, поскольку: использование химических и дезинфицирующих веществ негативно воздействует на здоровье животных и полученную от них продукцию; озон обладает высокой окислительной и дезинфицирующей активностью, высоким дезодорирующим и бактерицидным действием [38].

Так, П.И. Супруненко (1880) для дезинфекции воздуха рекомендовал применять озон в концентрациях до 10 мг/м^3 , а Н.К. Келдыш (1886) утверждал, что озон является лучшим средством для обеззараживания воздуха. Учёными С.Я. Пшежецким и М.Т. Дмитриевым (1978) были изложены теоретические исследования по применению озона для очистки воздуха помещений. В обзорной статье Г.М. Рубцова (1976) показано, что озон использовали для очистки воздуха животноводческих помещений для устранения неприятно пахнущих газов. Исследованиями Н.В. Ксенза (1991) установлено бактерицидное действие озона. Обеззараживающий эффект проверяли на хлопчатобумажных тест-объектах, предварительно обсеменённых стафилококком. Полная гибель микроорганизмов наступила через 60 мин. при дозе обсеменения 100 тыс. и 1 млн. м.т./см² [4].

По сравнению с таким химическим веществом, как хлор, озон более эффективен и быстро действует на патогенную микрофлору. Так, одна частица озона эквивалента 8-10 частицам хлора. Использование озона в низких концентрациях (в пределах допустимой концентрации) для обработки воздушной среды помещения позволяет избежать побочных эффектов на организм животных и человека [44].

Анализ данных показал, что озон можно применять в технологических циклах как животноводческой, так и пищевой индустрии. Посредством обработки воздушной среды озоном можно профилактировать распространение заразных болезней, а также проводить дезинфекцию, дезинсекцию и дезодорирование помещений и рабочих поверхностей, технологического оборудования, продукции и материалов и т.д.

Благодаря огромной проникающей и угнетающей способности на патогенную микрофлору, насекомых и грызунов газ озон интенсивно используют в технологии производства, где предполагается обработка воздушной среды и

водных ресурсов. Научно доказано, что основной причиной, затрудняющей проведение мероприятий, направленных на дезинфекцию воздушной среды и поверхностей, является способность бактерий адаптироваться к неблагоприятной для них среде, вырабатывать своего рода иммунитет к дезинфицирующим веществам, что, в свою очередь, приводит к негативным последствиям на производстве [45, 46].

Механизм действия озона на различные виды и формы микрофлоры и одноклеточные организмы одинаков и сводится к разрушению мембран и поверхностного слоя протоплазмы клеток. При невысоких концентрациях озона происходит торможение каталазной и дегидразной активности дыхательных ферментов, а также необратимая коагуляция протеиновой фракции поверхностного слоя протоплазмы. И, как правило, действие озона на микробную клетку заканчивается нарушением проницаемости, разрывом и лизисом оболочки [42.].

Благодаря специфическому механизму воздействия газообразного озона на микроорганизмы происходит реакция окисления липидов и липопротеинов, которые являются структурными элементами оболочки бактерий [47]. Озон может вступать в окислительную реакцию практически со всеми бактериями, при условии оптимальной его концентрации в воздушной среде и временного интервала воздействия. Устойчивость к газообразной форме можно отметить у бактерии *Deinococcus radiodurans* [48].

В свою очередь, озон способствует гибели таких патогенных микроорганизмов, как стафилококков и стрептококков. Основные воздействующие факторы озона на патогенную микрофлору изучали индийские ученые, которые особое внимание уделили бактериям типа *Escherichia coli* и *Salmonella typhi*. После проведенных ими исследований на питательных средах было выявлено, что плотность культур с течением времени постепенно снижается с полным прекращением роста кишечной палочки. Ученые сделали вывод, что озон подавляет эти бактерии, но для получения максимального бактерицидного

эффекта необходимо использовать разные концентрации и время обработки озоном [49,50, 51].

Положительное действие озона было отмечено и на микроорганизмы, которые проявляют резистентность к антибиотикам.

Известно также о противовирусном действии озона, которое заключается в инаktivации вируса путём прямого окисления его компонентов [48, 52,-55].

Наряду с бактерицидным и вирулицидным действием озон оказывает губительное действие на различные виды плесневых грибов, дрожжей, водорослей, простейших. Установлено, что концентрации озона до 0,03 мг/л угнетают процессы размножения и роста плесневых грибов, до 1,5 мг/л – разрушают вегетативные формы и до 20 мг/л – разрушают споры. В концентрации 2 мг/л подавляет жизнедеятельность амебы и жидкокристаллических форм многоклеточных организмов [42].

Кроме этого, озон оказывает положительный эффект на гуморальный иммунитет клетки, вызывая стимулирование её пролиферации и выработку иммуноглобулинов, способствуя переходу макрофагов в активную фазу и стимулируя фагоцитоз.

В ветеринарии озон успешно используют при мышечных и кожных поражениях у всех видов животных, который оказывает антибактериальное, противовоспалительное, стимулирующее и репаративное действие [56].

Резюмируя вышеизложенное, стоит выделить следующие положительные свойства озона:

- устранение неприятных запахов;
- уничтожение насекомых;
- разрушение токсических веществ;
- уничтожение болезнетворных микроорганизмов;
- дезинфицирующее действие;
- повышение в воздухе количества кислорода, что способствует улучшению газообмена в органах и тканях организма;
- нормализация артериального давления;

- снижение раздражительности и стресса;
- повышение иммунитета;
- значительное снижение болевых ощущений, ускорение заживления ран, способствование более быстрому выздоровлению.

Однако, при всех достоинствах озона, стоит выделить и целый ряд недостатков. При интенсивном воздействии озона на организм и высокой его концентрации в воздухе возможно оказание токсического действия на слизистые верхних дыхательных путей и лёгкие. А длительное вдыхание богатого озоном воздуха ведёт к образованию в организме нерастворимого холестерина и отложению его в сосудистой стенке, что способствует возникновению атеросклероза. Также этот газ может привести к бесплодию и появлению злокачественных новообразований. Негативные воздействия на животных и человека проявляются хронической усталостью, вялостью, сонливостью, головными болями и возникновением аллергических реакций [49,56].

1.3 Технические средства, способы регулирования процесса озонобразования и электроозонирования воздушной среды животноводческих помещений

Основоположителем развития электротехнологии озонирования можно, по праву, считать Чижевского А.Л. В своих работах «Я молнию у неба взял», «Тайна живого воздуха», «Аэроионы и жизнь» учёный описывает свойства аэроионов и их положительное влияние на живые организмы, создает концепцию аэроионизатора – люстры Чижевского. На основе его работ в дальнейшем появились конструкции озонаторов на коронном разряде и барьерного типа [57, 58]

Научные исследования по воздействию озона на живые организмы и по концепциям системы озонирования воздушной среды проводились советским учёным Кривопишиным И.П., основные достижения которого были опубликованы в 1988 году в труде «Озон в промышленном птицеводстве». Но стоит отметить, что в своё время электротехнология озонирования воздушной

среды не была принята в производство в связи с отсутствием высокопроизводительных озонаторных установок и их малой надёжностью, а также высоких экономических затрат на оборудование [42].

Специально подготовленные методики, устройства и механизмы для обеспечения нормированных параметров движения воздушных масс в производственных помещениях зачастую не всегда, должным образом, обеспечивают оптимальный состав воздушной среды в помещении по газовым характеристикам и патогенной микрофлоре, вследствие чего, наносится ощутимый экономический ущерб таким категориям производства, как животноводство и птицеводство, и достигает порядка 15...35 % от общего продукта. Для совершенствования систем микроклимата производственных помещений учёными Московского государственного университета природообустройства во главе со Сторчевым В.Ф. и инженерами Фединым А.В., Черновым Р.Ю. и Зиновьевым А.М было предложено использовать ионизацию и озонирование воздушной среды в коровниках, а также родильных помещениях для выращивания и откорма молодняка крупного рогатого скота. Предложенное ими изобретение состояло из элементов: высоковольтного источника питания; генераторов ионов и озона, размещаемых в стойле для животных в их области, соединенных с источником питания через высоковольтный провод. Предложенная конфигурация позволяла добиться стабильной и однородной концентрации ионов и озона в области обитания животных. При расчёте для промышленного производства озона в электроозонаторах с коронным разрядом соотношение озона и оксидов азота составляло 1:100 [59].

Опираясь на опыт коллег Кубанского государственного аграрного университета, можно сделать вывод, что озонирование является эффективным способом дезинфекции, дезинсекции и дезодорирования различных сред, особенно воздуха. Проведенные исследования на яйцескладе ООО «Птицевод» Краснодарского края показали, что существует проблема в нестабильной работе озонаторов в помещении, а именно неравномерность распределения озона по помещению яйцесклада [60]. Для получения максимального эффекта работы

электрического озонатора учёные рекомендуют проводить ряд мероприятий, направленных на обеспечение равномерного распределения озона внутри помещения. Авторами экспериментальным путем было обнаружено, что расстояние от точки замера концентрации озона в воздушной среде производственного помещения до источника генерирующего озон (озонаторной установки) напрямую влияет на показатель концентрации озона, что в конечном итоге негативно воздействует на общее качество обработки скорлупы яиц. При обработке производственных помещений озоном стоит учитывать количество обрабатываемых яиц и рабочие поверхности, которые способствуют более быстрому разложению озона на молекулы кислорода под действием химических реакций [61]. Данные по зависимости распределения озона по помещению яйцесклада от расстояния до источника генерирования озона из воздушной среды представлены в таблице 1.4 [60, 61].

Таблица 1.4 – Полученные экспериментальные данные

Расстояние до источника генерирования озона, м	Показатель концентрации озона в воздушной среде, мг/м ³
0	19,8
1	19,5
2	18,6
3	16,4
4	14,9
5	11,1
6	9,2
7	6,8
8	3,0
9	1,1
10	0,2

Также авторами была представлена структурная схема лабораторной установки для определения зависимости распределения озона по помещению яйцесклада от расстояния до источника генерирования озона из воздушной среды (рисунок 1.4) [60, 61].

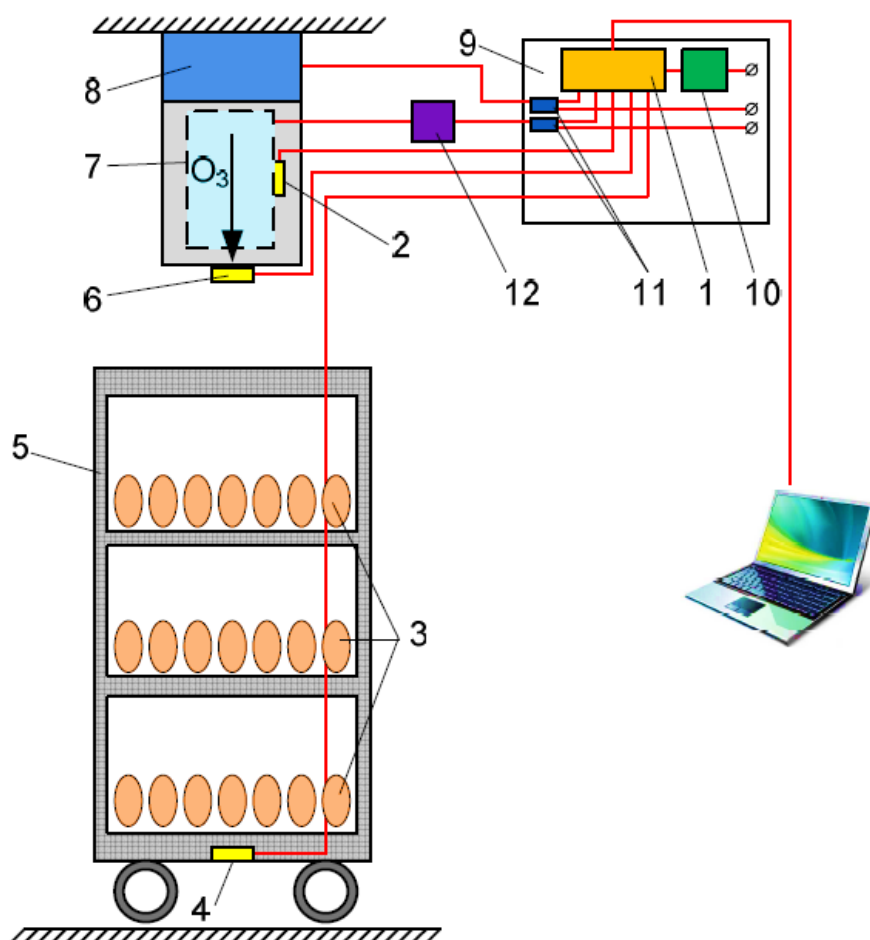


Рисунок 1.4 – Структурная схема лабораторной установки для определения зависимости распределения озона по помещению яйцесклада от расстояния до источника генерирования озона из воздушной среды

- 1 – регулятор; 2 – датчик температуры DS18B20; 3 – яйца;
 4 – второй датчик концентрации озона; 5 – контейнер для хранения яиц;
 6 – первый датчик концентрации озона; 7 – разрядное устройство; 8 – вентилятор;
 9 – щит управления, 10 – источник питания; 11 – силовые ключи;
 12 – повышающий трансформатор.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что для получения максимального эффекта от озонирования помещения необходимы мероприятия для обеспечения равномерности распределения озона внутри помещения и стабильности работы озонатора.

Эффективный режим обработки помещений озоном зависит от таких факторов, как объём обрабатываемого помещения, производительность электрического озонатора, концентрация озono-воздушной смеси на выходе озонатора и температура воздушной среды. Учёными Сибирского государственного университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева (СибГТУ), а также НПО «Пульсар» было выявлено, что динамика изменения концентрации озона в обрабатываемом помещении состоит в следующем: при пуске электрического озонатора первоначальная концентрация газообразного озона резким скачком возрастает до определенного пикового значения (зависит от мощности используемой установки), после чего происходит плавное снижение концентрации, а по истечении временного интервала показатель концентрации становится неизменным. Учёные пояснили, что данная тенденция в изменении концентрации озона напрямую связано с физико-химическими свойствами разложения озона на молекулы кислорода [62].

Диаграмма зависимости концентрации озона в воздушной среде производственного помещения от временного промежутка представлена на рисунке 1.5 [62].

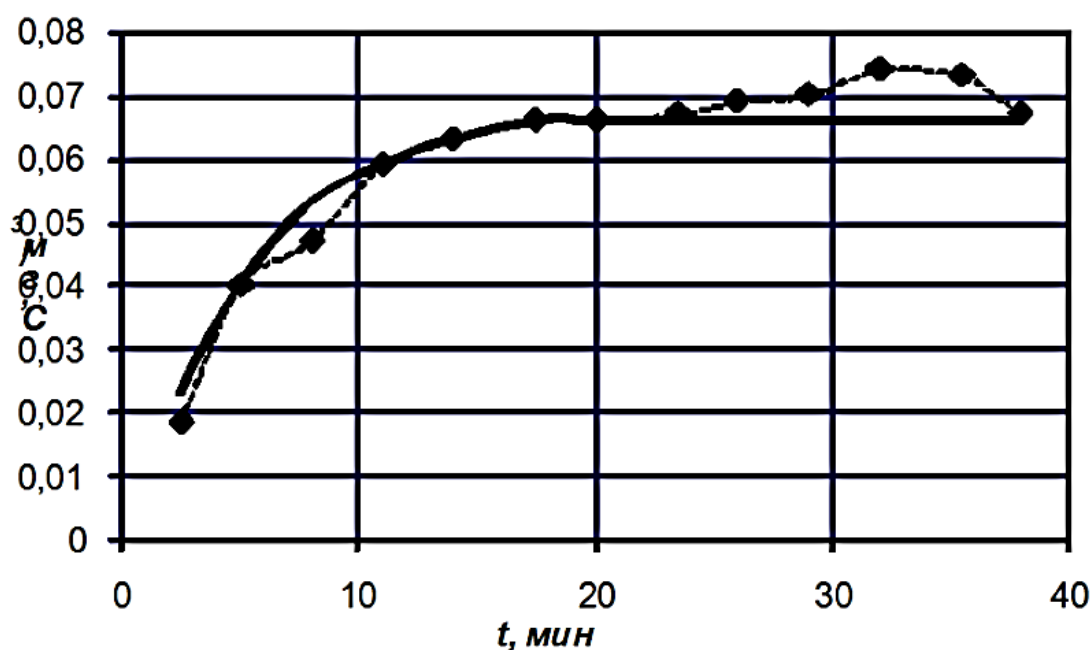


Рисунок 1.5 – Изменение концентрации озона по времени
1 – теоретический расчет; 2 – эксперимент

Проанализировав полученные результаты научных исследований по обработке воздушной среды помещений молочного завода озono-воздушной смесью, можно сделать вывод о том, что электроозонирование является конкурентоспособным методом дезинфекции, по сравнению с той же обработкой ультрафиолетовым излучением. Также стоит отметить и тот факт, что сохраняется полная эффективность обеззараживания и оздоровления воздушной среды производственного помещения, а также безопасность процесса обработки, наряду с простотой и удобством применения электроозонаторных установок.

Кроме того, авторами предложено ещё одно конструктивное исполнение электрического озонатора воздуха, который осуществляет свою работу следующим образом: питание подходит к компрессору, электровентилятору и источнику высокого напряжения, в последующем, на разрядном устройстве формируется барьерный разряд и происходит образование озона. Компрессор подаёт воздух, который служит для отведения сформированного газообразного озона из камеры озонаторного устройства. Некоторая часть озона вентилятором подаётся в перепускной патрубок и охлаждается при помощи элемента Пельтье, затем озono-воздушная смесь снова направляется в разрядное устройство. Для того, чтобы обеспечить отвод образовавшегося конденсата из озонаторной установки используется специальный клапан. Излишнее тепло от элемента Пельтье отводится посредством специального радиатора [63].

Основным недостатком данного озонатора является наличие компрессора, из-за чего устройство нуждается в системе охлаждения, что также существенно усложняет его конструкцию. Устройство обладает низкой степенью регулировки выходных параметров, что обусловлено проблематичностью его использования в производственных помещениях.

Стрижковым И.Г., Разнован О.Н. и Дайбовой Л.А. был разработан способ для осуществления контроля параметров производительности электрических озонаторов. Авторами было принято решение использовать в качестве расхода продукта концентрацию газообразного озона, а в роли сигнала – количество электрического заряда в озono-воздушной смеси и проводить замеры во

временной проекции, посредством специального электронного управляющего блока. После чего подача сигнала осуществляется на дифференцирующее звено, которое по заданным циклам определяет скорость изменения заряда и формирует его в виде электронного/аналогового сигнала, при этом циклически поступающие сигналы на счётчик сигналов суммируются и при достижении суммарного сигнала заданной величины напряжения озонатор отключается [64].

Устройство содержит датчик производительности озона, установленный перед выходом озонатора, и имеет кулометр, соединенный с дифференцирующим звеном и блоком управления, состоящим из последовательно соединённых счётчика сигналов, усилителя сигналов и устройства управления циклическим процессом измерения скорости изменения заряда. Выход усилителя сигналов соединен с регулятором напряжения. Датчик выполнен в виде тонкой металлической пластины, а высоковольтный электрод озонатора – в виде плоской катушки [64].

Данное устройство способствует увеличению надёжности работы электро-озонатора барьерного типа, а также стабилизирует его параметры. Использование контроля концентрации газообразного озона непосредственно на выходе из озонаторного устройства и в контрольных точках позволяет стабилизировать данную систему и работать более производительнее.

Коллективом ученых СибГТУ были проведены исследования влияния влажности воздуха на работу озонатора при обработке замкнутых объёмов, на основе которых можно сделать вывод о том, что регулируя влажность можно облегчить работу установки, увеличить её ресурс и качество распределения озона внутри помещения. Но стоит отметить, что есть возможность при окислительных процессах получить азотную кислоту в камере образования озона. Это свидетельствует о необходимости более тщательного изучения данного вопроса при конструировании электрических озонаторов различного типа [65].

Зависимость концентрации озона от влажности представлена на рисунке 1.6 [65].

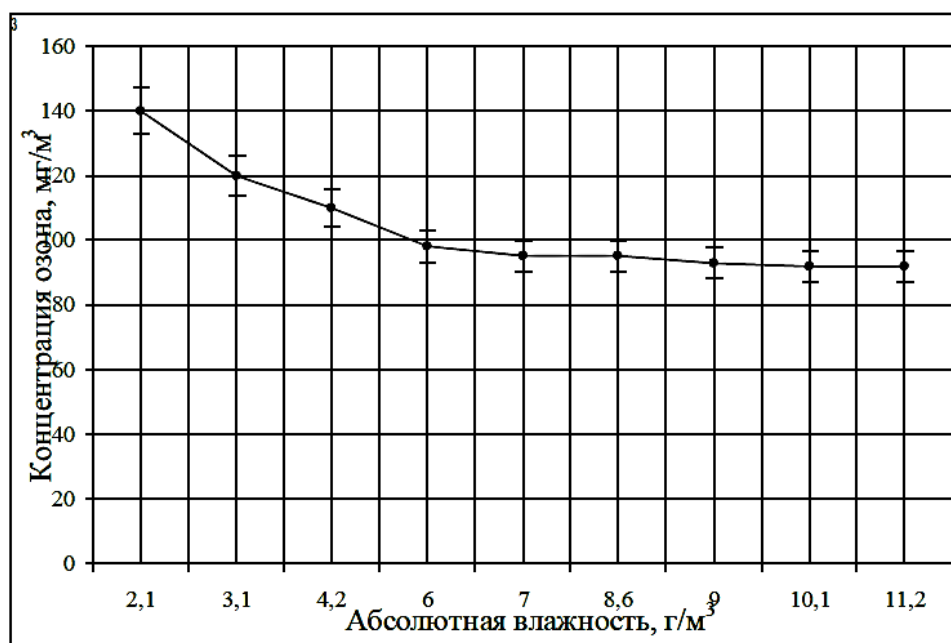


Рисунок 1.6 – Зависимость концентрации озона от влажности

Результаты исследований могут быть использованы для определения максимальной концентрации озона в помещении, так и времени достижения безопасных концентраций, когда нахождение человека и животных в помещении может быть безопасно.

На основании анализа приведенных данных необходимо учитывать данные параметры микроклимата для облегчения работы установки, увеличения её ресурса и качества распределения озона внутри помещения.

Опираясь на работу профессора Сторчевого В.Ф. можно сделать вывод, что несмотря на многообразие различных способов обеззараживания и оздоровления воздушной среды в животноводческих помещениях целесообразно сочетать в технологических процессах промышленного животноводства и птицеводства такие электротехнологии, как ионизация и озонирование. Процесс озонирования и формирование ионов в электроозонаторных устройствах зависит от конструкционно-технологических параметров таких, как: геометрические, электрические и кинематические [66].

Лабораторная установка для обоснования конструкционно-технологических параметров электроозонатора и режимов его работы представлена на рисунке 1.7 [66].

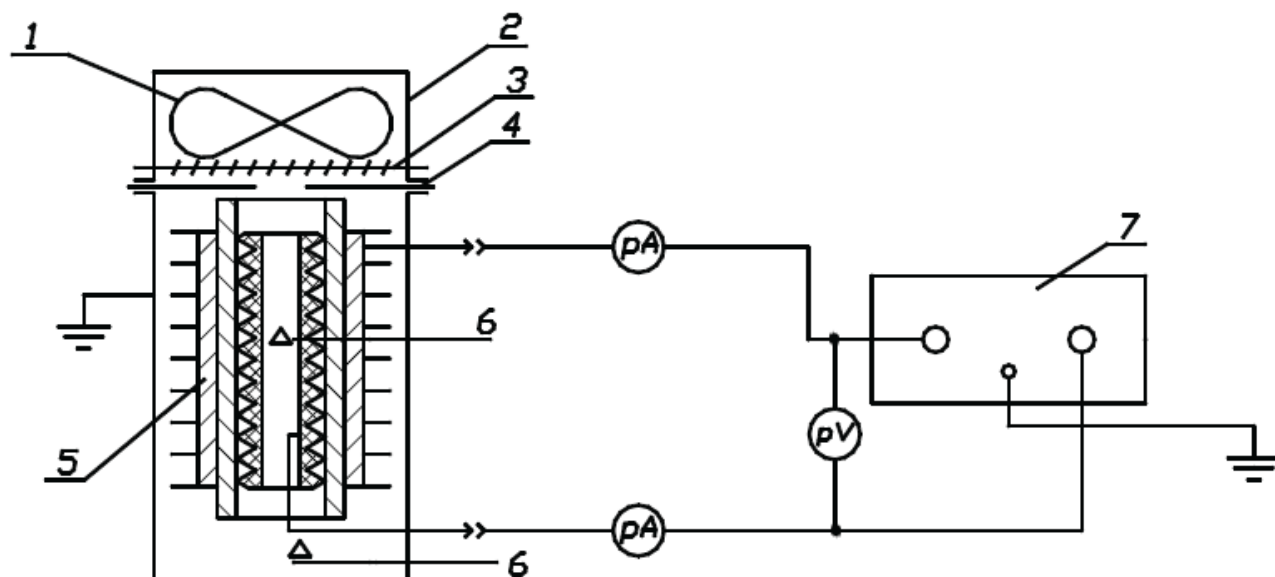


Рисунок 1.7 – Лабораторная установка для обоснования конструктивно-технологических параметров электроозонатора и режимов его работы
 1 – кондиционер с вентилятором; 2 – воздуховод; 3 – жалюзи; 4 – расходомер;
 5 – озонатор; 6 – измерители температуры, влажности и давления воздуха;
 7 – высоковольтный трансформатор

Зависимость силы тока (I) и напряжения (U) от ёмкости озонатора (C) представлена на рисунке 1.8 [66].

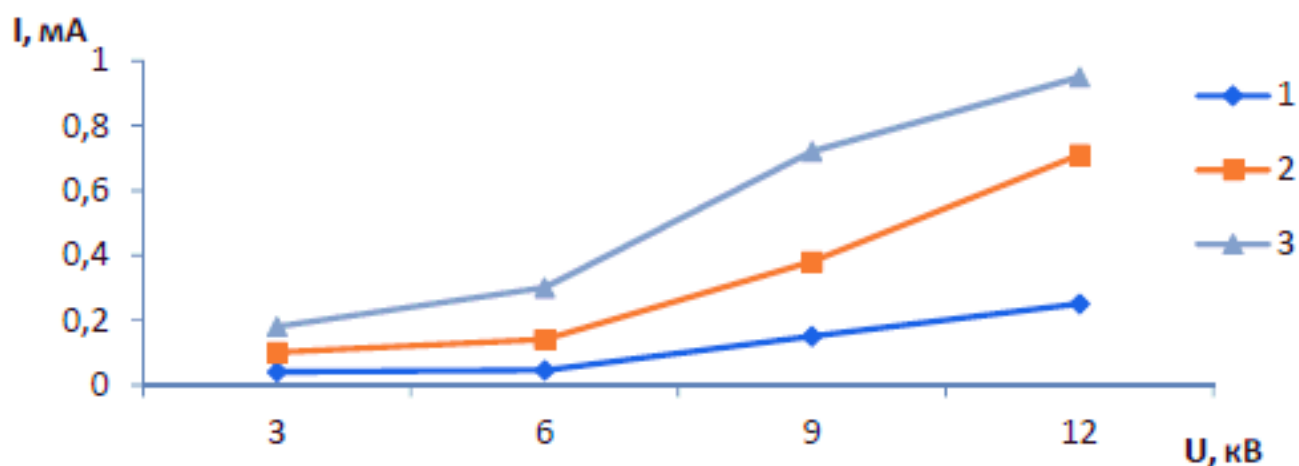


Рисунок 1.8 – Зависимость силы тока (I) и напряжения (U) от ёмкости озонатора (C)
 $C = 7,5 \cdot 10^{-11}$ Ф; 2) $C = 4,2 \cdot 10^{-10}$ Ф; 3) $C = 80 \cdot 10^{-9}$ Ф

Зависимость синтеза озона от скорости движения озонно-ионной воздушной смеси представлена на рисунке 1.9 [66].

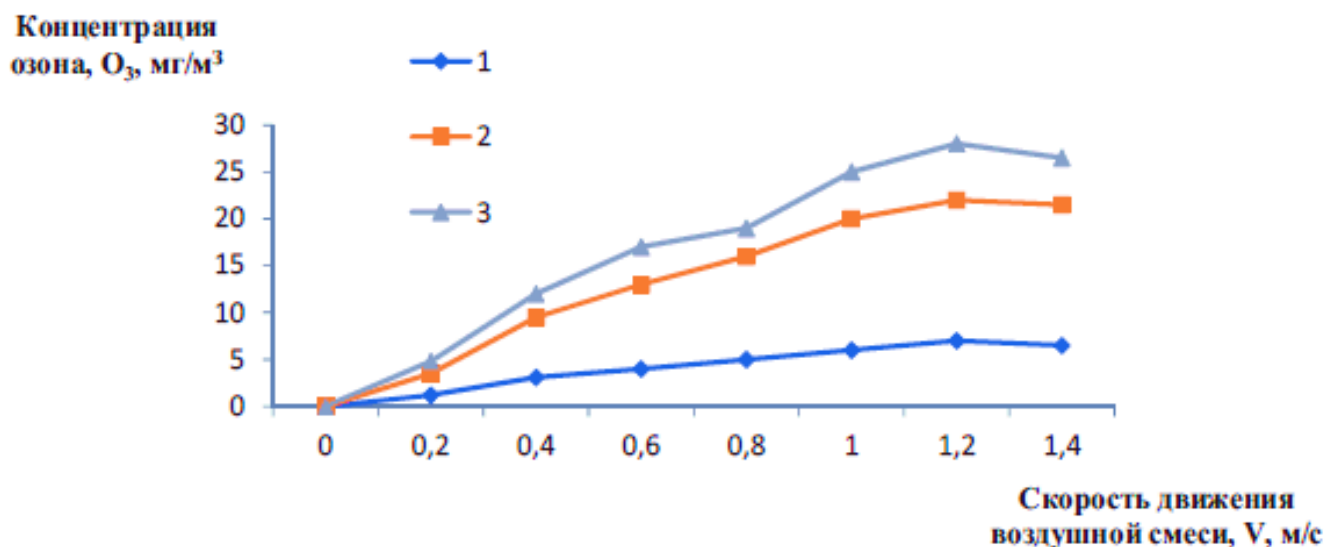


Рисунок 1.9 – Зависимость синтеза озона от скорости движения озонно-ионной воздушной смеси

1) $C = 7,5 \cdot 10^{-11}$ Ф; 2) $C = 4,2 \cdot 10^{-10}$ Ф; 3) $C = 80 \cdot 10^{-9}$ Ф

С увеличением расстояния от ионизатора по длине дезинфекционной камеры инкубатория наблюдается снижение концентрации озона и отрицательных ионов.

Аппроксимация степенной функции изменения концентрации воздушной озонно-ионной смеси по длине дезинфекционной камеры инкубатория имеет вид:

– по ионам ($R_2 = 0,94$)

$$L = 73,15n^{-1,14} \quad (1.1)$$

– по озону ($R_2 = 0,99$)

$$L = 22,43O_3^{-1,14} \quad (1.2)$$

Благодаря исследованиям и разработанным математическим моделям автора при проектировании электрического озонатора можно определить его основные конструктивно-технологические параметры и оптимальные рабочие

режимы, обеспечивающие потребный уровень концентрации озono-воздушной смеси при обработке воздушной среды и поверхностей в помещениях промышленного животноводства и птицеводства.

Зависимость концентрации озона от времени работы озонатора при разной площади обкладки диэлектрика представлена на рисунке 1.10.

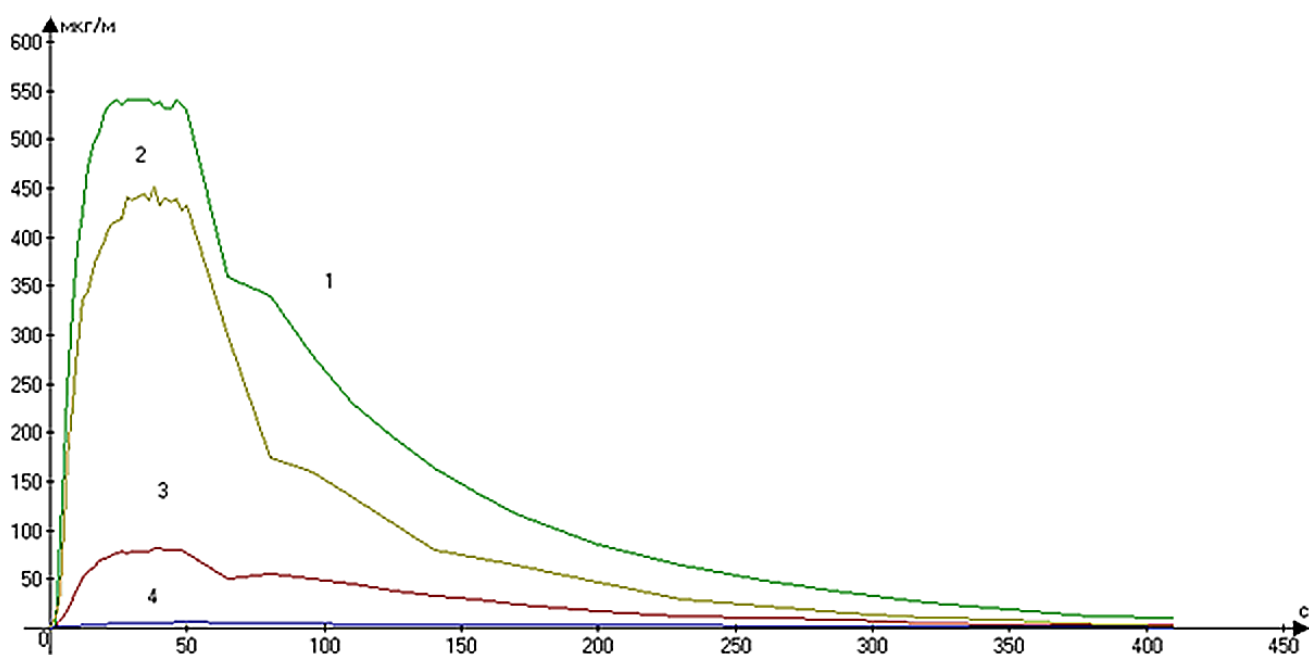


Рисунок 1.10 – Зависимость концентрации озона от времени работы озонатора при разной площади обкладки диэлектрика

1 – $S = 165 \text{ см}^2$, $U = 10 \text{ кВ}$; 2 – $S = 80 \text{ см}^2$, $U = 10 \text{ кВ}$;

3 – $S = 165 \text{ см}^2$, $U = 3 \text{ кВ}$; 4 – $S = 80 \text{ см}^2$, $U = 3 \text{ кВ}$

Также учёным была разработана и представлена схема установки для определения конструктивно-технологических параметров и рабочих режимов озонатора-ионизатора для нужд МТФ, которая представлена на рисунке 1.11 [67]. Согласно проведенному исследованию, установлено, что по истечении 0,5 минут после включения электрического озонатора воздуха устанавливается допустимый режим при необходимой концентрации газообразного озона в воздушной среде. Соответственно, после отключения установки происходит резкое снижение концентрации озона и примерно через 6,0 минут доходит до нуля, при этом площадь обкладок озонаторной установки оказывает нелинейное влияние на его показатель производительности по озону. В ходе исследования было установлено,

что от воздействия приложенного напряжения на излучатель напрямую зависит показатель концентрации озона в воздушной среде. Проведенный учёным анализ регрессионных уравнений в ходе исследований позволил выявить рациональные режимы работы установки, обеспечивающие минимум удельных энергетических затрат при оптимальном содержании отрицательно заряженных ионов на выходе из озонатора-ионизатора [67].

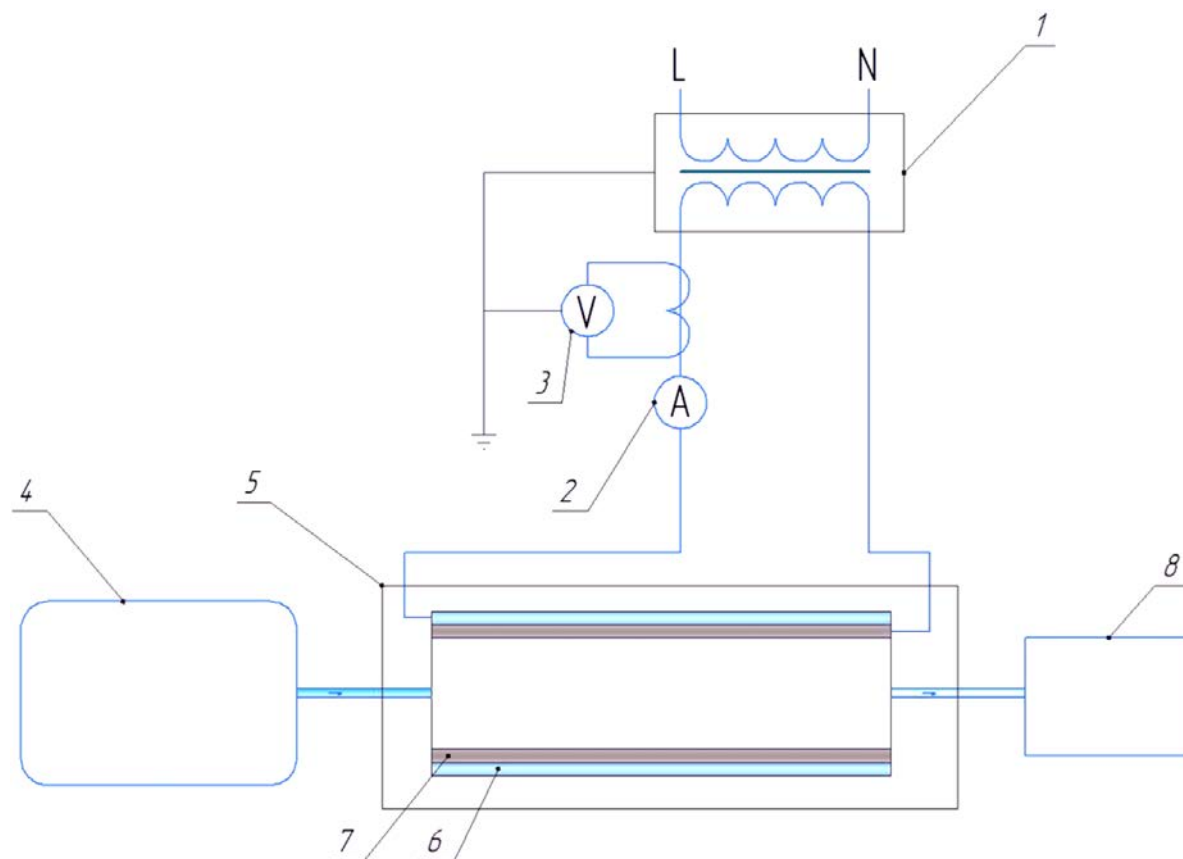


Рисунок 1.11 – Схема установки

- 1 – высоковольтный трансформатор ТГМ-1020; 2 – амперметр ЭА72; 3 – киловольтметр С-96;
 4 – воздушный компрессор озонатор; 5 – камера генерации озона-ионной смеси;
 6 – внешняя обкладка озонатора; 7 – внутренняя обкладка озонатора;
 8 – газоанализатор озона 3.02.П

Также авторским коллективом проведены исследования в области моделирования переходных электрических режимов и составляющих их процессов в ходе озонирования воздушной среды и поверхностей помещений. Предложенная система «источник питания – ионизатор-озонатор» применяется в промышленных животноводческих и птицеводческих помещениях для улучшения показателей качества воздушной среды и улучшения параметров микроклимата.

Стационарные процессы, происходящие в данной системе, обусловлены определенными сложностями, поэтому стабильная работа системы в ходе её эксплуатации напрямую будет зависеть от технологических процессов, протекающих в ней. Определенные переходные процессы в системе возникают либо при её отключении (реле времени и т.д.), либо при коротком замыкании на линии высокого напряжения (пробой изоляционных материалов, выход из строя озонатора-ионизатора) [68].

Характеристики изменения токовой нагрузки (а) и напряжения (б) в момент отключения системы представлены на рисунке 1.12 [68].

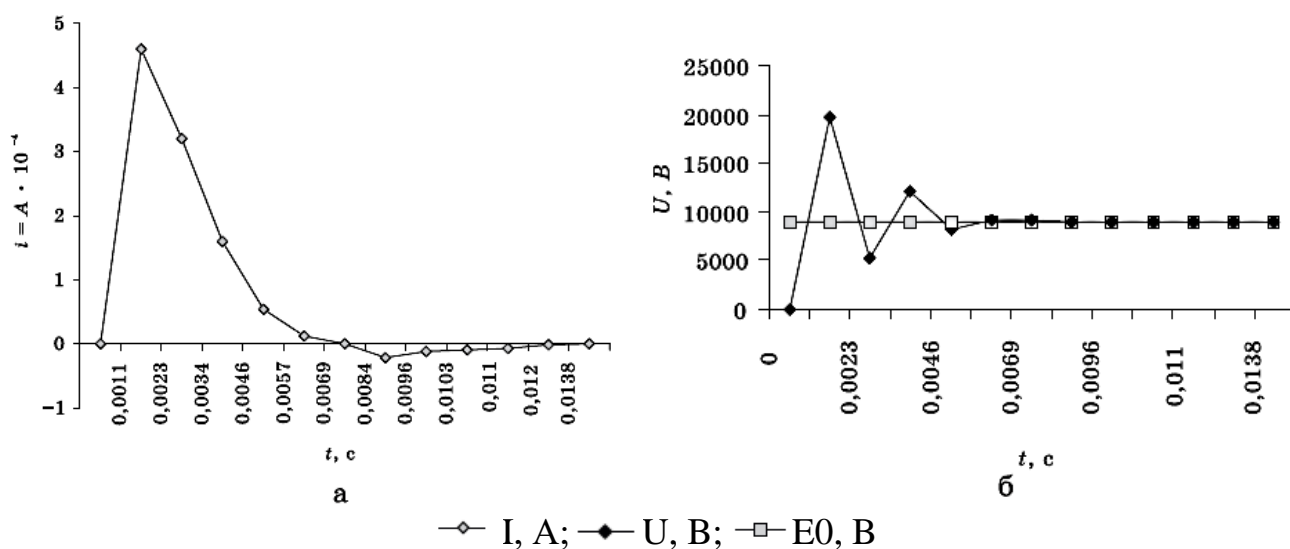


Рисунок 1.12 – Характеристики изменение токовой нагрузки (а) и напряжения (б) в момент отключения системы представлены

Основным недостатком данного озонатора является наличие компрессора, из-за чего устройство нуждается в системе охлаждения, что также существенно усложняет его конструкцию.

Учеными Кубанского ГАУ было разработано конструктивное исполнение электрического озонатора воздуха, который в своей основе содержит источник питания высокого напряжения, а также электроды, обусловленные своим коаксиальным расположением, и специальные диэлектрические слои. Также устройство оснащено корпусом с вентилятором, непосредственно диэлектрические слои выполнены в виде конусов, где находятся и электроды,

представленные в виде обмоток из специального изолированного проводника [69].

Принцип работы устройства можно описать следующим образом: источник высокого напряжения подаёт напряжение на электроды, в которых возникает разряд, проходящий через воздушную среду, способствует формированию газообразного озона. Полученный озон посредством вентилятора транспортируется на выход из озонаторной установки в помещение. Благодаря конструктивной особенности электродов, которые выполнены в виде равномерно уложенной обмотки из изолированных проводов, напряжённость электрического поля по всему контуру распределяется более равномерно, поэтому отпадает необходимость в дополнительных элементах, обладающих различной диэлектрической проницаемостью. Стоит отметить, что данное устройство имеет высокие показатели производительности по озону [69].

Данная разработка весьма перспективна, но основным недостатком конструкции устройства является низкий показатель надёжности электродов.

Конструктивная схема озонатора представлена на рисунке 1.13.

Это устройство способствует увеличению надёжности работы электроозонатора барьерного типа, а также стабилизирует его параметры. Использование контроля концентрации озона на выходе из озонатора и в контрольных точках позволяет данной системе работать более эффективно.

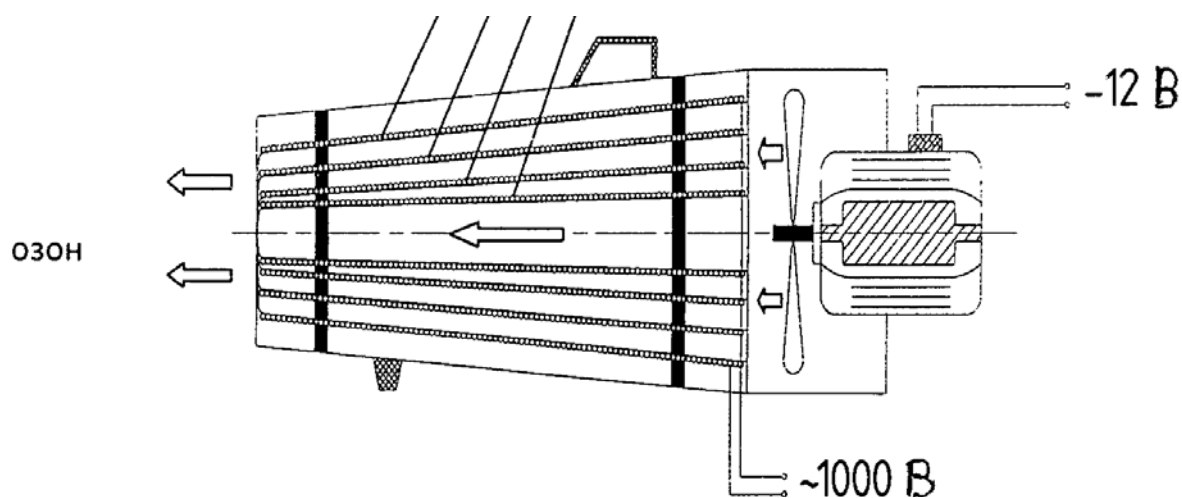


Рисунок 1.13 – Конструктивная схема озонатора

Для определения конструктивных параметров электро-озонатора были изучены разработки ученых Кубанского ГАУ.

Способ определения конструктивных параметров электроозонатора осуществляется следующим образом: предварительно экспериментально определяют влияние активной мощности разрядного устройства на его производительность и строят график их зависимости при влажности 60%, 70%, 80% и 90%. Выполняют расчёт газоразрядных блоков, выполненных из стекол, разной толщины от 2,5 до 4,5 мм. В расчёте также использовали различные значения площади газоразрядного промежутка, которые варьировали от 0,1 м² до 1,0 м². По полученным данным построена следующая зависимость ёмкости разрядного устройства от площади стеклянных пластин при разной их толщине, затем – зависимость значения активной мощности электроозонатора от ёмкости разрядного устройства. Далее составляют номограмму для определения технических характеристик электроозонатора [70].

Из работы «Снижение потерь энергетических показателей электроозонаторов» известно, что в электрических схемах замещения коронной и барьерной разрядных систем используются специальные приборы на полупроводниковом принципе работы, при помощи которых появляется возможность производить фиксацию токов пульсации и обеспечивать постоянное напряжение на конденсаторе. Автор работы считает, что необходимо учитывать все энергетические характеристики полупроводниковых приборов в ходе выявления активной мощностной характеристики системы в целом. В опубликованных научных исследованиях, посвященных энергетическим характеристикам электрических цепей на основе полупроводниковых элементов, приведен анализ несинусоидальных функций токовых характеристик и напряжения.

Изменение обобщенного вектора полной мощности на ионизаторе-озонаторе представлено на рисунке 1.14 [71].

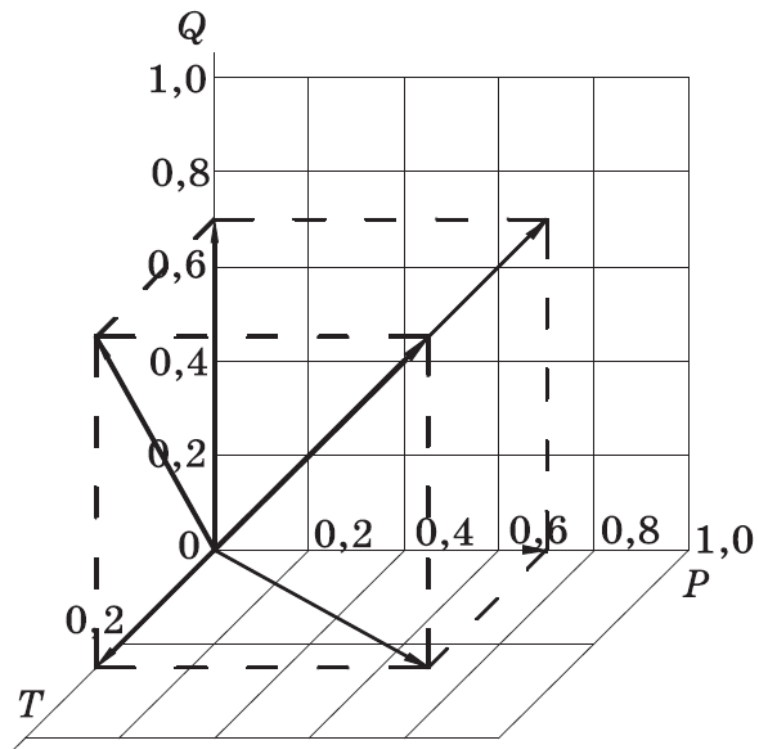


Рисунок 1.14 – Изменение обобщенного вектора полной мощности на ионизаторе-озонаторе

Геометрическое изображение обобщенного вектора полной мощности на ионизаторе-озонаторе проиллюстрировано на рисунке 1.15 [71].

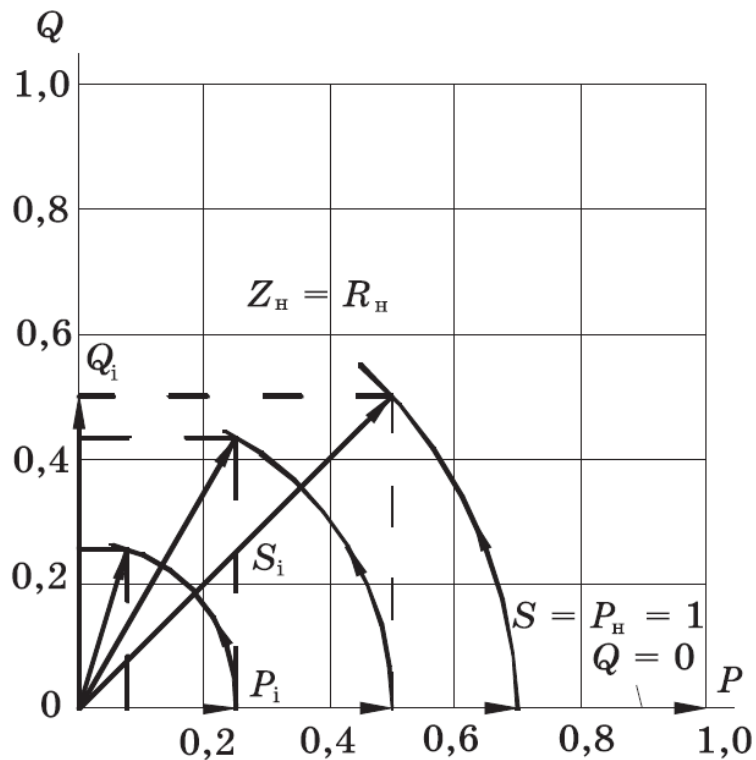


Рисунок 1.15 – Геометрическое изображение обобщенного вектора полной мощности на ионизаторе-озонаторе

Из данных литературного источника «Снижение потерь энергетических показателей электроозонаторов» следует, что при достоверно известных параметрах питающей электрической цепи, осуществляющей свою работу в номинальном режиме, несмотря на сложные зависимости реактивных сопротивлений, вызванных нелинейной деформацией формы токовой нагрузки, для оптимального их расчёта нужно математическим путем определить параметр активного эквивалентного сопротивления [71]. Благодаря данному исследованию существует возможность определения переменных величин, отвечающих за характеристику режимов работы, что, в свою очередь, будет способствовать определению энергетических потерь в озонаторной установке и дальнейшей оптимизации её работы.

1.4 Выводы по главе

В главе обобщены сведения научных трудов по способам дезинфекции и улучшения показателей качества воздушной среды и поверхностей животноводческих помещений, выявлена общая характеристика проблемы современного состояния систем обеззараживания, проанализирована перспектива обработки озоном. Изучены технические средства и способы регулирования процесса электроозонирования производственных помещений.

Данные исследований учёных, занимающихся электротехнологией озонирования, показали, что применение озонаторных установок является эффективным способом для обеззараживания и оздоровления воздушной среды и улучшения её газового состава, а также обеспечения профилактики распространения заразных болезней животных.

Проведенный анализ озона, в сравнительном аспекте, с химическими веществами и ультрафиолетовым излучением показал, что первый более эффективен по своей проникающей и диссоциирующей способности, безопасности в предельно допустимых концентрациях. В малых дозах озон воздействует на широкий спектр патогенных микроорганизмов, включая вирусы, бактерии и грибы.

При всех достоинствах обработки воздушной среды озоном существует основная проблема, которая заключается в нестабильной работе озонаторных установок при длительных режимах функционирования и сложности обеспечения равномерной концентрации внутри обрабатываемого помещения. Поэтому для получения максимального эффекта от работы электроозонаторного устройства необходимы мероприятия для обеспечения равномерности распределения озона внутри помещения, а также техническая возможность озонатора осуществлять работу в качестве адаптивной системы с возможностью комбинирования и интеграции в системы вентиляции и кондиционирования.

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИИ

2.1 Общие вопросы озонообразования

2.1.1 Способы образования озона

Проведя анализ средств для обеззараживания и улучшения показателей качества воздушной среды животноводческих помещений, была составлена классификация основных физических способов её регулирования (рисунок 2.1).

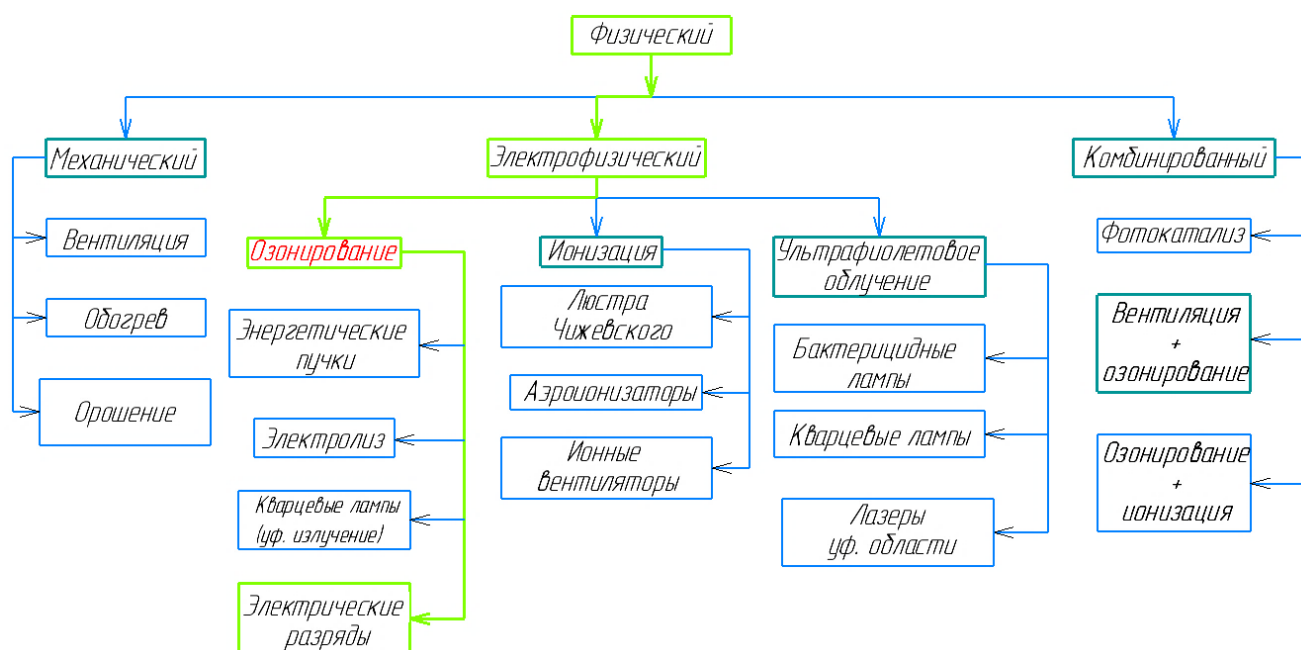


Рисунок 2.1 – Физический способ регулирования качества воздушной среды животноводческих помещений

Электрический озонатор воздуха – это устройство для синтеза газа озона (O_3) из воздушной среды, посредством химических или электрофизических воздействий. Заполнение озоном воздушной среды, в настоящее время, нашло широкое применение как в быту, так и на производстве. Используется в основном для осуществления очистки (оздоровления) воздушной среды, профилактики распространения заразных болезней, дезинсекции, дератизации, борьбы с плесенью, удаления токсичных веществ и газов, а также неприятных запахов (дезодорация) [4, 38, 72, 73].

Основные способы получения озона [4, 30, 42, 73,74]:

- облучение при помощи энергетических пучков;
- электролиз или окисление веществ;
- ультрафиолетовое излучение;
- электрические разряды.

Облучение при помощи энергетических пучков. В электрических приборах, испускающих энергетические пучки, процесс озonoобразования происходит путём воздействия на кислород, находящийся в воздушной среде, потоками таких частиц, как: электроны, рентгеновские лучи, лучи радиационных потоков: α -частиц, γ -квантов и т.д. Газ озон начинает синтезироваться из кислорода при энергии монохроматического пучка электронов 6000 В, что, в свою очередь, подтверждает общепринятый механизм озonoобразования путем диссоциации молекулы кислорода [75, 76].

К ключевым сложностям и недостаткам метода синтеза озона из воздушной среды посредством использования энергетических пучков можно отнести: конструктивную сложность оборудования, относительно малый энергетический выход, нестабильность процесса озonoобразования с использованием высокоэнергетических пучков энергии, образование большого количества сопутствующих веществ при воздействии на воздух частиц высоких энергий. Исходя из вышеизложенного, устройства для генерации газа озона из воздушной среды, работающие по принципу энергетических пучков, не нашли применения на производстве и в быту. Для более детального исследования электротехнологии озонирования установки данного типа применяют в научно-испытательных лабораториях [75, 76].

Электролиз или окисление веществ. Одним из способов получения газа озона может выступать реакция электролиза электролита, в роли которого можно использовать концентрированный раствор хлорной кислоты (HClO_4). Для того, чтобы добиться максимального показателя производительности по озону в ходе реакции, процедуру электролиза рекомендуется проводить при низких температурах, в результате чего происходит синтез кислородно-озоновой смеси.

Основным недостатком метода реакции электролиза является высокая стоимость электродов и растворов электролита, а также сложность практической реализации данного метода на производстве и в быту [77, 78].

Стоит отметить, что выделение газа озона также происходит при окислительно-восстановительных реакциях некоторых веществ. Примером может служить реакция с пиненом и кислородом в воздушной среде, в ходе чего происходит синтез озона. Синтез озона путем окислительно-восстановительных реакций также, как и вышеуказанный метод, не нашёл широкого применения в связи с дороговизной сырья и проблем с дальнейшим разделением полученных веществ в ходе реакции.

Ультрафиолетовое излучение. Процесс озонобразования при помощи энергии ультрафиолетового излучения является одним из самых менее трудоёмких, но низким по производительности газа озона. Его сущность заключается в том, что кислород, находящийся в воздушной среде, пропускается через охлаждаемый и прозрачный для ультрафиолетового излучения (например, кварцевый) реактор, облучаемый источником ультрафиолетового излучения, с оптимальным показателем спектра. Выход озона при использовании УФ-установок невысок, поэтому в условиях промышленного производства этот метод, как правило, не реализуется [4, 30, 79, 80].

Электрические разряды. При данном методе процесс образования аллотропа кислорода (O_3) происходит путём воздействия на молекулы кислорода (O_2) воздушной среды электрического разряда высокого напряжения, под действием которого осуществляется диссоциация на два свободных атома кислорода (O). Последние смешиваются и образуется газ озон (O_3). Данный метод технической реализации имеет большую перспективу, так как данная система более производительна и подвергается приемлемым регулировкам.

В настоящее время используют следующие виды разрядов для получения озона: тихий, барьерный, дуговой и коронный [58, 59, 81- 84].

Данный способ озонобразования используется в электроозонаторных установках и нашёл широкое применение на производстве и в быту.

Принцип работы озонатора представлен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Принцип работы озонатора

2.1.2 Применение коронного разряда

Коронный разряд представляет собой один из видов самостоятельного разряда, который образуется в различном диапазоне давлений (начиная от атмосферного и выше). Одной из основных особенностей коронного разряда является то, что он может не завершиться пробоем разрядного промежутка. Как правило, данный вид разряда возникает у электродов, обладающих относительно малым радиусом кривизны, а его горение происходит в виде ярко-синего светящегося ореола – «горящей короны» [84, 85, 86].

Одним из основных условий появления и горения коронного разряда выступает неоднородность электрического поля и определяется следующим условием:

$$K_n \geq 3 \quad (2.1)$$

где K_n – коэффициент неоднородности.

Если рассматривать образование коронного разряда в рамках постоянного напряжения, то его можно разделить на:

- униполярный коронный разряд (униполярная корона);
- биполярный коронный разряд (биполярная корона).

Униполярная корона образуется только тогда, когда электроды в промежутке имеют одинаковую полярность. То есть вся внешняя зона заполнена зарядами того же знака, что и коронирующий провод.

Структура размещения электрических зарядов при униполярной короне представлена на рисунке 2.3.

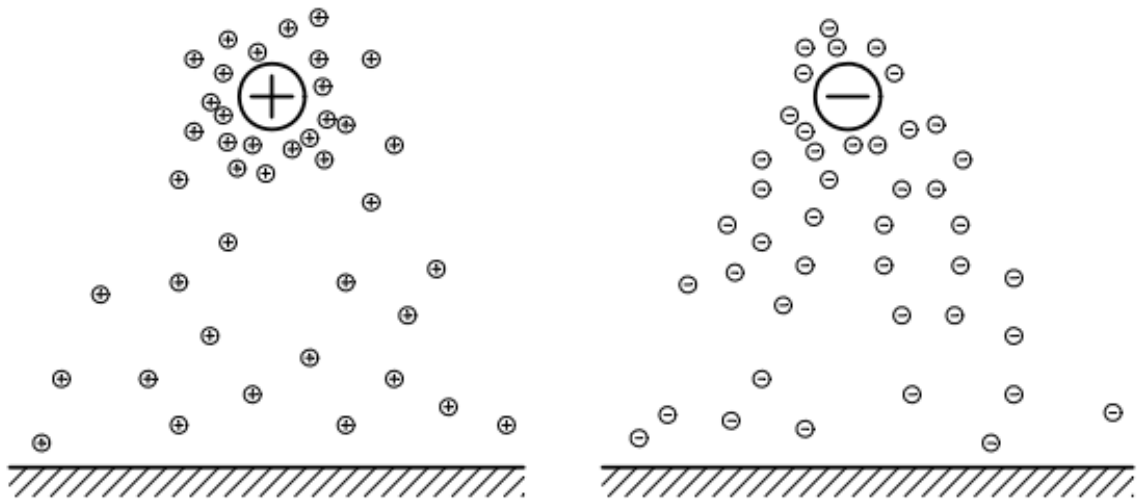


Рисунок 2.3 – Структура размещения электрических зарядов при униполярной короне

Биполярная корона образуется, только в том случае, когда электроды имеют противоположный заряд (положительный и отрицательный). Структура размещения электрических зарядов при биполярной короне представлена на рисунке 2.4.

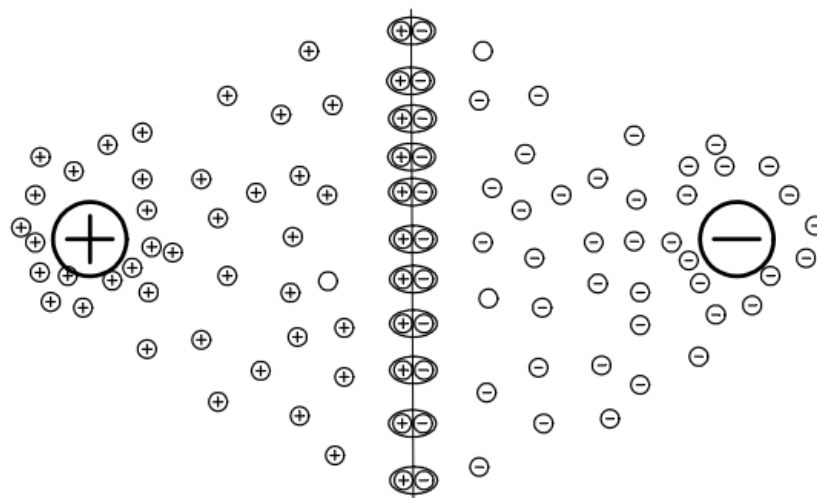


Рисунок 2.4 – Структура размещения электрических зарядов при биполярной короне

Если рассматривать внешнюю зону биполярного коронного разряда, то движение ионов противоположных зарядов (положительный и отрицательный) будет осуществлять своё движение навстречу друг к другу.

В случае, если бы на линии нулевого потенциала производился процесс рекомбинации ионов, то биполярный коронный разряд был бы представлен двумя униполярными коронными разрядами, которые, в свою очередь, не зависели бы друг от друга.

На практике же, на линии нулевого потенциала происходит рекомбинация ионов, но лишь частично, основная масса заряженных частиц переходит во внешнюю зону проводника отличной полярности. В результате чего происходит снижение показателя заряда данной зоны. Для того, чтобы добиться восстановления показателя напряжения, которое способствует поддержанию начальной напряжённости на поверхности проводника, ионизация в чехле короны должна увеличиться. После чего должен появиться новый заряд для нейтрализации попавших вовнутрь зарядов. Поэтому ток биполярного коронирующего разряда значительно выше, чем в униполярном коронном разряде. Исходя из этого, следует, что коронный разряд вынуждает ограничивать напряжённость электрического поля у поверхности высоковольтных электродов. Как правило, для осуществления ограничения напряжённости электрического поля происходит выбор более больших электродов и изменение их формы, а для поддержания однородного поля электроды полируют [86, 87, 88].

Необходимая напряжённость электрического поля, при которой начинается образование коронного разряда и его горение, напрямую зависит от таких факторов, как: радиус кривизны электрода, вида среды и её относительной плотности.

Необходимую напряжённость электрического поля можно определить исходя из формулы Георга Пика [85]:

$$E_k = 30,3m\delta \left[1 + \frac{0,298}{\sqrt{\delta r_0}} \right], \quad (2.2)$$

где m – поправочный коэффициент, характеризующий показатель гладкости проводника, для отполированного проводника сечением в виде окружности $m=1$;

δ – относительная плотность воздушной среды;

r_0 – радиус проводника, м.

Если радиус проводника превышает значение 0,01 м, то напряжённость электрического поля лучше рассчитать согласно формуле Залесского:

$$E_k = 24,5m\delta \left[1 + \frac{0,613}{(\delta r_0)^{0,4}} \right] \quad (2.3)$$

2.1.3 Физическая модель электродной системы

Научный интерес, для создания озона на основе коронного разряда, представляет зона озонобразования, включающая несколько зон создания разряда с использованием системы стержневых потенциальных электродов, закреплённых на проводящей плоскости. При этом система стержневых потенциальных электродов располагается над заземлённой проводящей плоскостью [85, 89]. Физическая модель такой электродной системы озонаторной установки с круглыми стержневыми электродами представлена на рисунке 2.5.

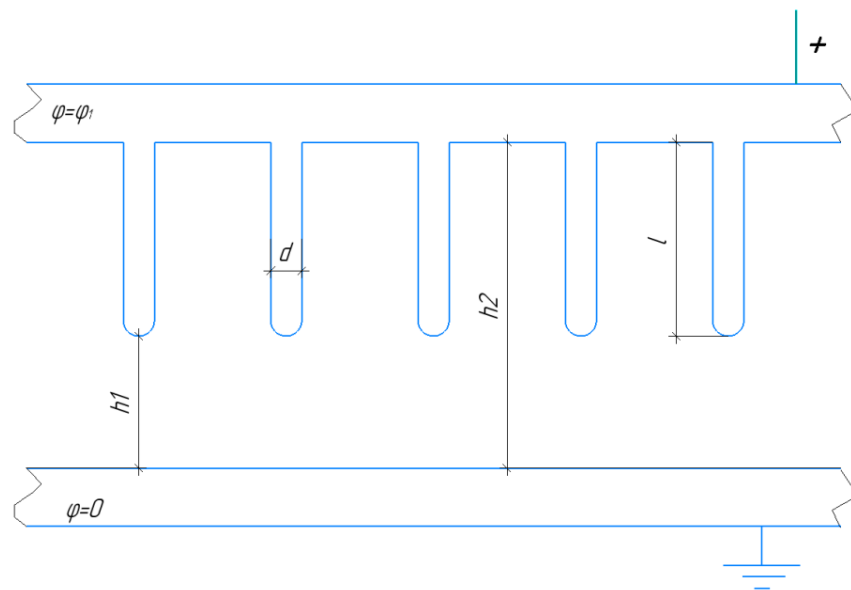


Рисунок 2.5 – Физическая модель электродной системы

h_1 – расстояние между электродом и проводящей плоскостью, мм;

h_2 – расстояние между пластинами потенциалов, мм; d – диаметр электрода, мм;

l – длина электрода, мм; φ – потенциал поверхности электрода,

Условно её можно представить, как деформированный плоский конденсатор, согласно следующей формулы:

$$C_{пл.} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{h_1}, \quad (2.4)$$

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), м.

2.2 Исследование напряжённости электрического поля в системе разнопотенциальных электродов при коронном разряде

2.2.1 Расчет напряжённости электрического поля в системе штыревой электрод - проводящая плоскость

Графически биполярная система «штыревой электрод-проводящая пластина» представлена на рисунке 2.6.

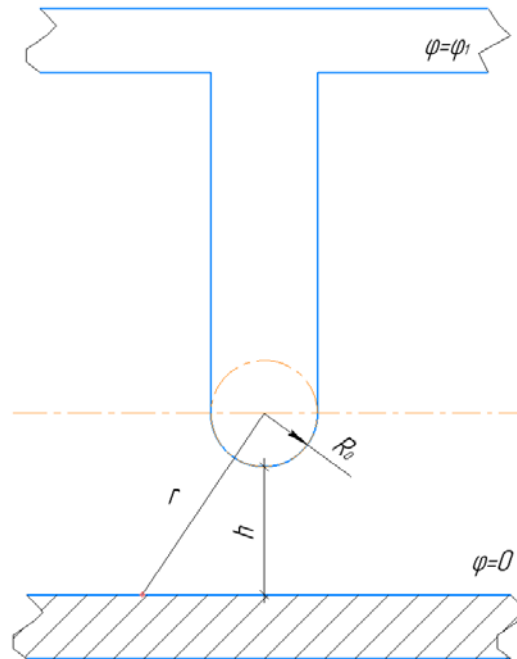


Рисунок 2.6 – Биполярная система «штыревой электрод-проводящая пластина»

r – приложенное расстояние к контрольной точке, мм;

h – расстояние разрядного промежутка, мм;

R_0 – радиус сферы электрода, мм ; φ – потенциал поверхности

В биполярной системе «штыревой электрод-проводящая плоскость» установлены электроды с остриём в виде полусферы радиусом R_0 . Конец (остриё) штыревого электрода, направленный в сторону плоскости с нулевым потенциалом $\varphi=0$, представляет собой полусферу с радиусом $r=R_0$. Если принять во внимание, 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, как показано на рисунке 2.7

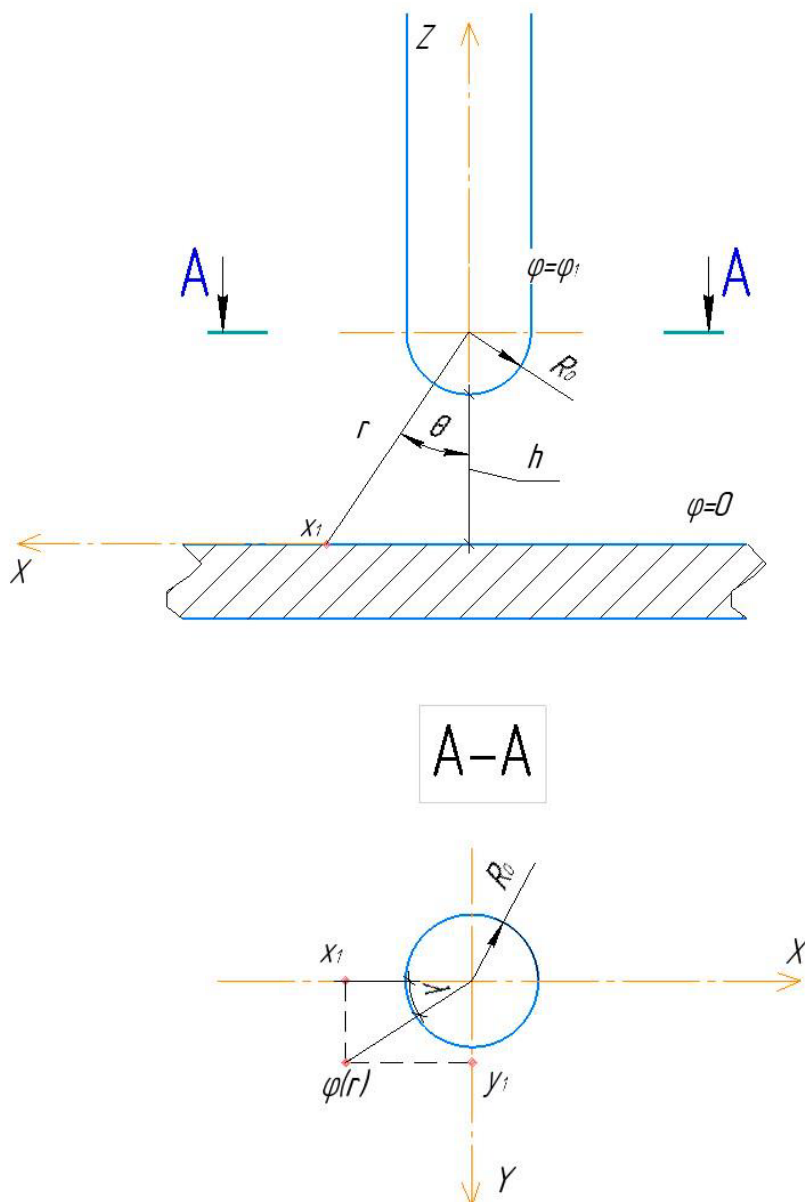


Рисунок 2.7 – Расположения потенциально-заряженной сферы штыревого электрода над проводящей плоскостью
 r – приложенное расстояние к контрольной точке, мм;
 h – расстояние разрядного промежутка, мм;
 R_0 – радиус сферы электрода; θ , λ – углы отклонения, °; φ – потенциал поверхности

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

$$\Delta\varphi = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d\varphi}{dr} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \Theta} \cdot \frac{d}{d\Theta} \left(\sin \Theta \frac{d\varphi}{d\Theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \Theta} \cdot \frac{d^2 \varphi}{d\lambda^2}, \quad (2.5)$$

где r – приложенное расстояние к контрольной точке, м;

Θ, λ – углы отклонения, °.

Также необходимо отметить, что уравнение Лапласа имеет линейный характер, поэтому у него есть два решения φ_1 и φ_2 , следовательно:

$$\Delta\varphi = 0 \quad (2.6)$$

В случае симметричного поля выражение примет следующий вид:

$$\frac{d\varphi}{d\Theta} = \frac{d\varphi}{d\lambda} \quad (2.7)$$

Тогда потенциальное поле $\varphi(r)$ между нижней частью проводящей сферы штыревого электрода и проводящей плоскостью будет представлена следующей функцией:

$$\Delta\varphi(r) = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d\varphi}{dr} \right) \quad (2.8)$$

Решением уравнения (2.8) является функция вида:

$$\varphi(r) = C_1 \frac{1}{r} + C_2, \quad (2.9)$$

где C_1 – ёмкость нижней части потенциально-заряженной сферы штыревого электрода, Ф;

C_2 – ёмкость проводящей плоскости (заземляющей поверхности), Ф.

Постоянная коэффициента ёмкостей сферы (C_1) и проводящей плоскости (C_2) определяется при учёте определённых граничных условий, представленных в следующих выражениях:

$$\varphi(R_0) = \varphi_1, \quad (2.10)$$

$$\varphi(r_1) = 0, \quad (2.11)$$

$$R_1 = \frac{R_0 + h}{\cos \Theta}, \quad (2.12)$$

где R_0 – радиус штыревого электрода, м ($R_0 = d/2$).

h – расстояние разрядного промежутка, м.

Исходя из вышеизложенного, была получена следующая система уравнений для определения показателей ёмкости:

$$\varphi_1 = C_1 \frac{1}{R_0} + C_2, \quad (2.13)$$

$$C_2 = -C_1 \frac{\cos \Theta}{R_0 + h}, \quad (2.14)$$

$$C_1 = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{R_0(1 - \cos \lambda) + h}, \quad (2.15)$$

$$C_2 = -\varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{R_0(1 - \cos \Theta) + h} \cdot \frac{\cos \Theta}{R_0 + h} = -\varphi_1 \frac{R_0 \cos \Theta}{R_0(1 - \cos \Theta) + h} \quad (2.16)$$

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

$$\varphi(r) = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{R_0(1 - \cos \Theta) + h} \cdot \frac{1}{r} - \varphi_1 \frac{R_0 \cos \Theta}{R_0(1 - \cos \Theta) + h}, \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} \varphi(r) &= \varphi_1 \frac{1}{R_0(1 - \cos \Theta) + h} \left(\frac{R_0(R_0 + h)}{r} - R_0 \cos \Theta \right) = \\ &= \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{R_0(1 - \cos \Theta) + h} \left(\frac{1}{r} - \frac{\cos \Theta}{R_0 + h} \right) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Исходя из вышеперечисленных функций, напряжённость электрического поля можно выразить в виде дифференциального уравнения:

$$E(r) = -\frac{d\varphi(r)}{dr} = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{R_0(1 - \cos \Theta) + h} \cdot \frac{1}{r^2}, \quad (2.19)$$

Напряжённость электрического поля по оси сферы штыревого электрода, при граничном условии $\cos \Theta = 1$, определим по следующей формуле:

$$E(0, r) = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{h} \cdot \frac{1}{r^2} \quad (2.20)$$

Стоит отметить, что при соблюдении условия $r = R_0$, уравнение напряжённости будет иметь следующий вид:

$$E(0, R_0) = \varphi_1 \frac{R_0 + h}{h} \cdot \frac{1}{R_0} = E \max \quad (2.21)$$

При соблюдении условия $r = R_0 + h$ уравнение напряжённости примет следующий вид:

$$E(0, R_0 + h) = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{h} \cdot \frac{1}{(R_0 + h)^2} = \varphi_1 \frac{R_0}{h(R_0 + h)} \quad (2.22)$$

С учётом формулы (2.21), для определения напряжённости электрического поля в конкретном ограничивающем условии, можно получить следующие выражения:

$$E_0(0, R_0) = \varphi_1 \frac{R_0 + h}{hR_0} = \varphi_1 \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{R_0} \right), \quad (2.23)$$

$$E_1(0, R_0 + h) = \varphi_1 \frac{R_0}{h(R_0 + h)} = \varphi_1 \frac{1}{h \left(1 + \frac{h}{R_0} \right)} \quad (2.24)$$

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

$$E_0 - E_1 = \varphi_1 \frac{R_0 + h}{hR_0} - \frac{R_0}{h(R_0 + h)} = \varphi_1 \frac{(R_0 + h)^2 - R_0^2}{hR_0(R_0 + h)} = \varphi_1 \frac{h(2R_0 + h)}{hR_0(R_0 + h)}, \quad (2.25)$$

Для оптимизации расчётов обратимся к следующему получившемуся выражению:

$$E_0 - E_1 = \varphi_1 \frac{2R_0 + h}{R_0(R_0 + h)} > 0 \quad (2.26)$$

Стоит отметить, что максимальное значение напряжённости электрического поля, исходя из формулы (2.20), будет находиться на поверхности проводящей сферы электрода в точке при следующих условиях $\Theta=0$; $r=R_0$ и будет иметь вид:

$$E \max = E(0, R_0) = \varphi_1 \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{R_0} \right) \quad (2.27)$$

Согласно Вазову В.Ф. в работе «Техника высоких напряжений», расчётная формула напряжённости электрического поля в рассматриваемой системе «штыревой электрод-проводящая плоскость», при граничном условии $R_0 \ll h$, имеет следующий вид [86]:

$$E = \frac{U}{R_0 \ln(1 + \frac{4h}{R_0})} = \frac{\varphi_1}{R_0 \ln(1 + \frac{4h}{R_0})} \quad (2.28)$$

Проведя сравнительный анализ представленных выше выражений (2.27) и (2.28), отметим, что они, в свою очередь, отражают основные тенденции влияния параметров системы «электрод-проводящая плоскость» на напряжённость электрического поля. Следовательно, можно сделать вывод, что:

- с уменьшением радиуса кривизны острия штыревого электрода напряжённость электрического поля (E) возрастает;
- с увеличением разрядного промежутка от острия штыревого электрода до проводящей плоскости напряжённость электрического поля (E) уменьшается.

2.2.2 Расчет электрической ёмкости системы штыревой электрод - проводящая плоскость

При оценке энергетических показателей озонаторных установок, работающих по принципу коронного разряда, одним из важных параметров является величина электрической ёмкости электродной системы (штыревой электрод-проводящая плоскость). Поэтому осуществлён анализ для расчёта параметров электрической ёмкости, рассматриваемой в ходе работы биполярной системы электродов.

Формула электрической ёмкости для системы заряженных тел будет иметь следующий вид [90, 91]:

$$C = \frac{Q}{\varphi_1 - \varphi_2}, \quad (2.29)$$

где Q – электрический заряд, Кл;

φ_i – электрический потенциал, В.

При осуществлении оценки показателя ёмкости системы «нижняя полусфера-проводящая плоскость» провели сравнение потенциалов рассматриваемой системы разнотенциальных (биполярных) электродов.

Известно, что потенциал электрического поля от заряженного шара в общем случае определяется по следующей формуле [90]:

$$\varphi(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_\alpha r} + C_2, \quad (2.30)$$

где ϵ_α – показатель абсолютной проницаемости, Ф/м;

r – радиус электрода, м;

C_2 – постоянная ёмкость, Ф.

Исходя из ранее полученного уравнения (2.9), выражение для определения электрического заряда будет иметь следующий вид:

$$Q = 4\pi\epsilon_\alpha C_1 \quad (2.31)$$

Исходя из граничного условия (2.10), получили развернутое выражение для определения электрического заряда в рассматриваемой системе электродов:

$$Q = 4\pi\epsilon_\alpha\varphi_1 \frac{R_0(R_0+h)}{R_0(1-\cos\Theta) + h} \quad (2.32)$$

Для определения общего показателя ёмкости электродной биполярной системы необходимо учесть разность потенциалов, согласно следующему выражению:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 0 \quad (2.33)$$

Тогда, общий показатель ёмкости электродной системы (штыревой электрод-проводящая плоскость) можно определить по следующим выражениям:

$$C = \frac{Q}{\varphi_1} = 4\pi\epsilon_\alpha \frac{R_0(R_0+h)}{R_0(1-\cos\Theta) + h}, \quad (2.34)$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 R_0 \frac{\left(\frac{R_0}{h} + 1\right)}{\frac{R_0(1-\cos\Theta)}{h} + 1}, \quad (2.35)$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная, Ф/м.

В ходе теоретических исследований было отмечено, что с увеличением расстояния разрядного промежутка (h) при граничном условии $R_0 \ll h$ формула преобразуется в выражение ёмкости для заряженной сферы (шара) и будет иметь следующий вид [90]:

$$C = 4\pi\varepsilon_0 R_0 \quad (2.36)$$

Исходя из формулы (2.34) и граничного условия $\Theta=0$ (обеспечение максимальной ёмкости), расчётная ёмкость электродной системы составит:

$$C(\Theta = 0) = 4\pi\varepsilon_\alpha \frac{R_0^2}{h} + 4\pi\varepsilon_0 R_0 \quad (2.37)$$

Следовательно, общую ёмкость можно разделить на составляющие и представить в следующем виде:

$$C(\Theta = 0) = C_{ш} + C_{доп}, \quad (2.38)$$

где $C_{ш}$ – ёмкость сферы (шара), Ф;

$C_{доп}$ – дополнительно возникающая ёмкость, Ф.

Ёмкость сферы (шара) представим в виде следующего выражения:

$$C_{ш} = 4\pi\varepsilon_\alpha R_0 \quad (2.39)$$

Дополнительная ёмкость будет иметь следующий вид:

$$C_{доп} = 4\varepsilon_\alpha \frac{\pi R_0^2}{h} \quad (2.40)$$

Учитывая то, что межэлектродная среда является воздушной, в дальнейших расчётах можно полагать граничное условие $\varepsilon_r = 1$, или $\varepsilon_\alpha = \varepsilon_0$.

2.2.3 Расчет электрической ёмкости для системы из потенциальных электродов и проводящей плоскости

Система «штыревой электрод-проводящая плоскость» с остриём электрода представлена на рисунке 2.8. Для определения ёмкости для системы из потенциальных электродов и проводящей плоскости использовали следующее выражение:

$$C = \sum C_i + \sum C_j, \quad (2.41)$$

где C_i – ёмкость между электродом и плоскостью;

C_j – ёмкость между плоскостью присоединения электродов.

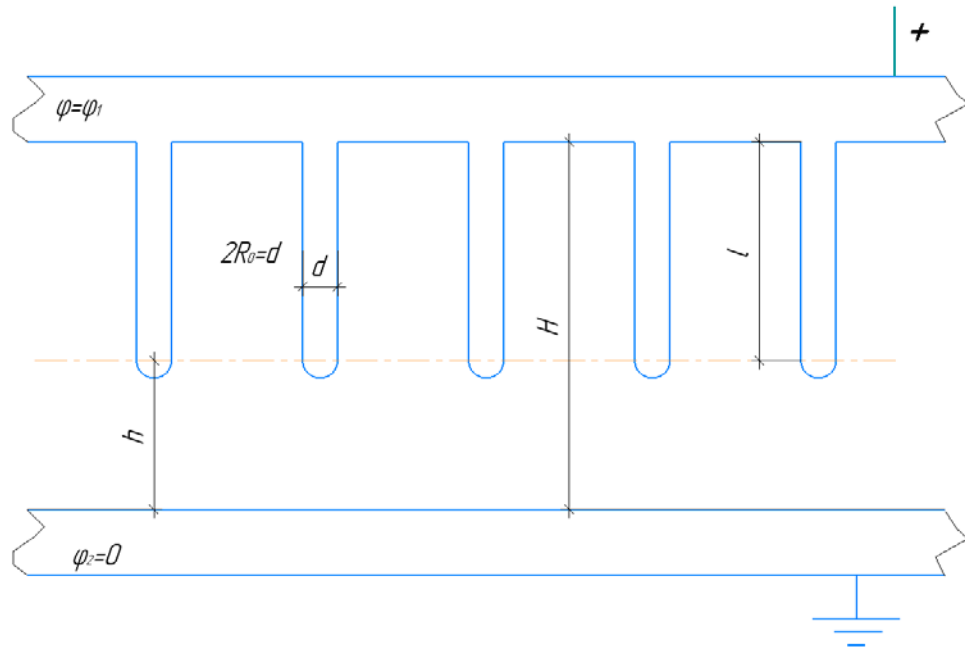


Рисунок 2.8 – Система «штыревой электрод-проводящая плоскость» с остриём электрода

h – расстояние разрядного промежутка, мм;
 H – расстояние между пластинами потенциалов, мм;
 d – диаметр электрода, мм; l – длина электрода, мм

Расчёт ёмкости системы с плоским основанием электрода.

Система «штыревой электрод-проводящая плоскость» с плоским основанием электрода представлена на рисунке 2.9. Если не учитывать кривизну острия электрода, а считать форму острия плоской (рисунок 2.9), то получим следующую формулу, определяющую ёмкость между электродом и проводящей плоскостью:

$$C_i = \varepsilon_a \frac{S_i}{h} = \varepsilon_a \frac{\pi R_0^2}{h}, \quad (2.42)$$

где S_i – площадь электродной поверхности, м²;

h – расстояние разрядного промежутка, м.

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

$$\sum C_i = NC_i = \varepsilon_0 \frac{\pi R_0^2}{h} \cdot N, \quad (2.43)$$

где N – количество штыревых электродов в системе, шт.

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

$$C_j = \varepsilon_\alpha \frac{\sum S_j}{H}, \quad (2.44)$$

где S_j – площадь плоскости присоединения электродов, м^2 .

Тогда площадь плоскости присоединения электродов будет определена по следующей формуле:

$$S_j = S_\pi - \sum S_i = S_\pi - \pi R_0^2 N, \quad (2.45)$$

где S_i – площадь электродной поверхности, м^2 ;

S_π – общая площадь рабочей площадки, м^2 .

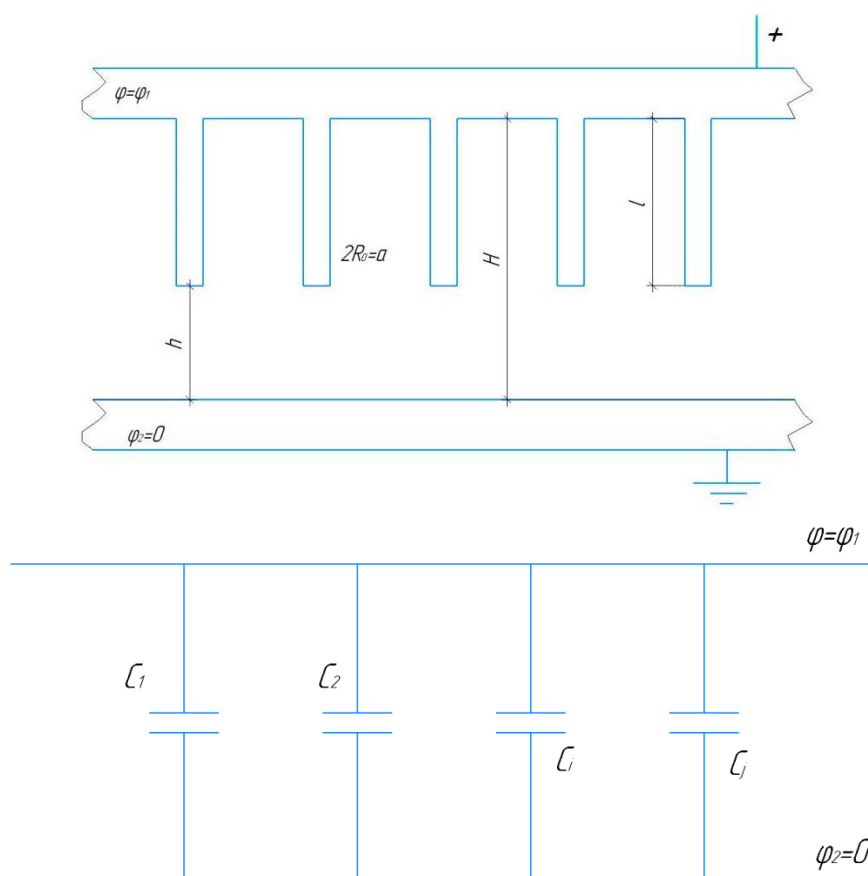


Рисунок 2.9 – Система «штыревой электрод-проводящая плоскость» с плоским основанием электрода

h – расстояние разрядного промежутка, мм; H – расстояние между пластинами потенциалов, мм;
 l – длина электрода, мм; C_1, C_2, C_i, C_j – ёмкостные характеристики системы из потенциальных электродов и проводящей ёмкости, Ф

Исходя из вышеизложенных данных, получен следующий вид выражения для определения ёмкости между плоскостью присоединения электродов:

$$\sum C_j = \varepsilon_a \frac{S_\pi - \pi R_0^2 N}{H} = \varepsilon_a \frac{S_\pi - \pi R_0^2 N}{l + h} \quad (2.46)$$

Исходя из формулы (2.41), получили следующее выражение для определения ёмкости системы из потенциальных электродов и проводящей плоскости:

$$\begin{aligned} C &= \varepsilon_a \frac{\pi R_0^2}{h} N + \varepsilon_a \frac{S_\pi - \pi R_0 N}{l + h} = \varepsilon_a \frac{\pi R_0^2}{h} N + \varepsilon_0 \frac{S_\pi}{l + h} - \varepsilon_0 \frac{\pi R_0 N}{l + h} = \\ &= \varepsilon_0 \frac{S_\pi}{l + h} + \varepsilon_0 \pi R_0 N \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{l + h} \right), \end{aligned} \quad (2.47)$$

где ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м.;

l – длина электрода, мм;

N – число электродов, ед.;

Также ёмкость можно представить в виде следующего выражения, разделённого на составляющие:

$$C = C_{пк} + C_{доп}, \quad (2.48)$$

где $C_{пк}$ – ёмкость плоского конденсатора, Ф;

$C_{доп}$ – дополнительная ёмкость, Ф.

Расчёт ёмкости с полусферическим основанием электрода.

Если рассмотреть рисунок 2.9, то ёмкость системы электродов можно принять равной сумме ёмкостей, создаваемых полусферами на оси шара формулы (2.41) - (2.43) и будет иметь следующий вид:

$$C_i = 4\pi\varepsilon_0 R_0 + 4\varepsilon_0 \frac{\pi R_0^2}{h} \quad (2.49)$$

Исходя из полученных данных, ёмкость между электродом и плоскостью будет иметь следующий вид:

$$\sum C_i = \left(4\pi\varepsilon_0 R_0 + 4 \frac{\varepsilon_0 \pi R_0^2}{h} \right) \cdot N \quad (2.50)$$

Тогда площадь электродной поверхности составит:

$$\sum S_i = \pi R_0^2 N \quad (2.51)$$

Исходя из полученных выше выражений, площадь плоскости присоединения электродов будет иметь следующий вид:

$$\sum S_j = S_\pi - \sum S_i = S_\pi - \pi R_0^2 N \quad (2.52)$$

Тогда ёмкость между плоскостью присоединения электродов будет иметь следующий вид:

$$\sum C_j = \frac{S_\pi - \pi R_0^2 N}{l + h} \quad (2.53)$$

Общую ёмкость контрольной точки можно представить как сумму:

$$C' = C'_{нк} + C'_{доп}, \quad (2.54)$$

где $C'_{нк}$ – ёмкость плоского конденсатора, Ф;

$C'_{доп}$ – дополнительная ёмкость, Ф.

Полученное выражение (2.54) будет актуально при выполнении следующего условия:

$$C' > C \quad (2.55)$$

2.2.4 Энергетическая оценка напряжённости электрического поля с учётом взаимного влияния соседних электродов

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 2.10.

Уравнение напряжённости электрического поля в контрольной точке «А» будет иметь следующий вид:

$$E_A = E_0 + 4E_i + 4E_j, \quad (2.56)$$

где E_0 – напряжённость электрического поля над основным электродом (контрольная точка А), В/м;

E_i – напряжённость электрического поля между ближним электродом и контрольной точкой «А», В/м;

E_j – напряжённость электрического поля между дальним электродом и контрольной точкой «А», В/м.

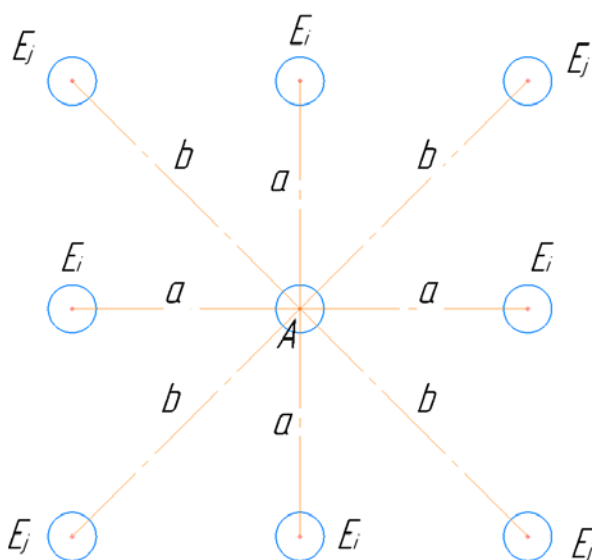
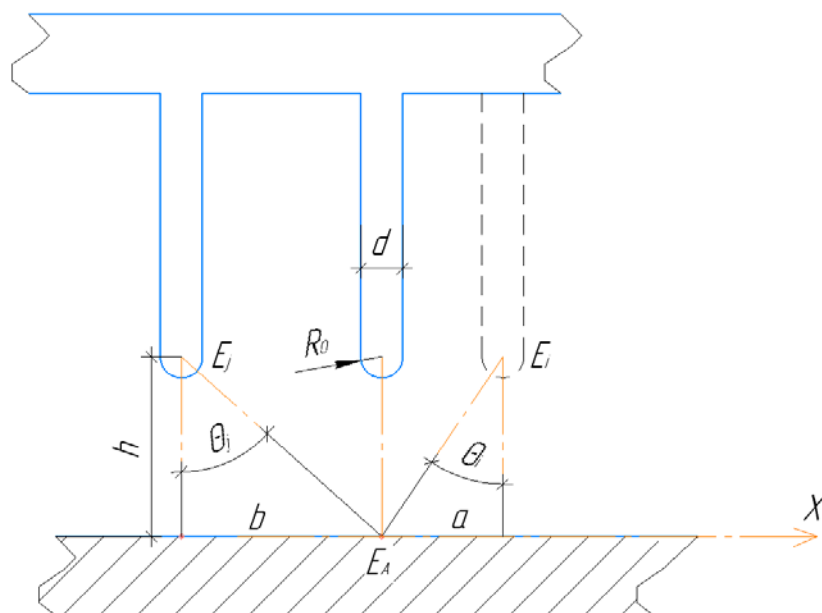


Рисунок 2.10 – Модель распределения напряжённости в системе штыревой электрод-проводящая плоскость

h – расстояние разрядного промежутка, мм; R_0 – радиус сферы электрода, мм;

d – диаметр электрода, мм; 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 точке «А», мм

Напряжённость электрического поля над основным электродом представлена следующим выражением:

$$E_0 = \varphi_1 \frac{R_0}{h \cdot (R_0 + h)} \quad (2.57)$$

Напряжённость, создаваемая ближайшими электродами, зависит от расстояния между ними. Тогда уравнения напряжённости в конкретных случаях будут иметь вид:

– напряжённость электрического поля между ближним электродом и контрольной точкой «А»:

$$E_i = \varphi_1 \frac{R_0 \cdot (R_0 + h)}{R_0 \cdot (1 - \cos \Theta_i) + h} \cdot \frac{1}{R_i^2}, \quad (2.58)$$

где Θ_i – угол отклонения ближайшего электрода к точке «А», °;

R_i – радиус действия ближнего электрода, приложенный к точке «А», м.

– напряжённость электрического поля между дальним электродом и контрольной точкой «А»:

$$E_j = \varphi_1 \frac{R_0(R_0 + h)}{R_0(1 - \cos \Theta_j)} \cdot \frac{1}{R_j^2}, \quad (2.59)$$

где Θ_j – угол отклонения дальнего электрода к точке А, °;

R_j – радиус действия дальнего электрода, приложенный к точке А, м.

Опираясь на следующие выражения $tg \Theta_i = \frac{Q}{R_0 + h}$, $Q = (R_0 + h)tg \Theta_i$ получим

выражения для определения:

– угол отклонения Θ_i ближайшего электрода к точке «А»:

$$\Theta_i = \arctg \frac{a}{R_0 + h} \quad (2.60)$$

– угол отклонения Θ_j дальнего электрода к точке «А»:

$$\Theta_j = \arctg \frac{b}{R_0 + h} \quad (2.61)$$

– радиус действия ближнего электрода, приложенный к точке «А»:

$$R_i^2 = (R_0 + h)^2 + Q^2 \quad (2.62)$$

– радиус действия дальнего электрода, приложенный к точке «А»:

$$R_j^2 = (R_0 + h^2) + b^2. \quad (2.63)$$

2.2.4.1 Оценка энергетических параметров разряда в зоне озonoобразования

Количество энергии при разряде в зоне озonoобразования пропорционально рабочему напряжению и межэлектродной ёмкости озонатора и рассчитывается по следующей формуле:

$$A = \frac{CU^2}{2} \quad (2.64)$$

где C – ёмкость системы электрод-проводящая плоскость, Ф;

U – показатель напряжения, В.

В таком случае, ток разряда имеет следующую зависимость:

$$i_{\text{раз.}} = \frac{U}{R_{\text{р.п.}}} \quad (2.65)$$

где $R_{\text{р.п.}}$ – показатель сопротивления разрядного промежутка, Ом.

Следовательно, электрический разряд будет представлен выражением:

$$Q = CU, \quad (2.66)$$

При неизменном потреблении электроэнергии $A = \text{const}$ получим оценку разрядного тока с учётом электрической ёмкости системы биполярных электродов:

$$A = \frac{C i_{\text{раз.}}^2 R_{\text{р.п.}}^2}{\lambda} \quad (2.67)$$

где $C i_{\text{раз.}}$ – электрическая ёмкость системы электродов, Ф;

Исходя из вышеизложенного, ток разряда можно представить следующим выражением:

$$i_{\text{раз.}} = \sqrt{\frac{2A}{CR_{\text{р.п.}}^2}} \quad (2.68)$$

Исходя из вышеизложенного, можно отметить, что величина энергии заряда (A) будет также напрямую зависеть от мощности источника и временного промежутка его работы.

2.2.5 Численный эксперимент и анализ параметров электрического поля

При осуществлении численного эксперимента для определения показателей напряжённости электрического поля в системе штыревой электрод-проводящая пластина была получена расчётная поверхность, характеризующая зависимость напряжённости электрического поля (E) от радиуса штыревого электрода (R_0) и расстояния от него до проводящей поверхности (h), которая представлена на рисунке 2.11.

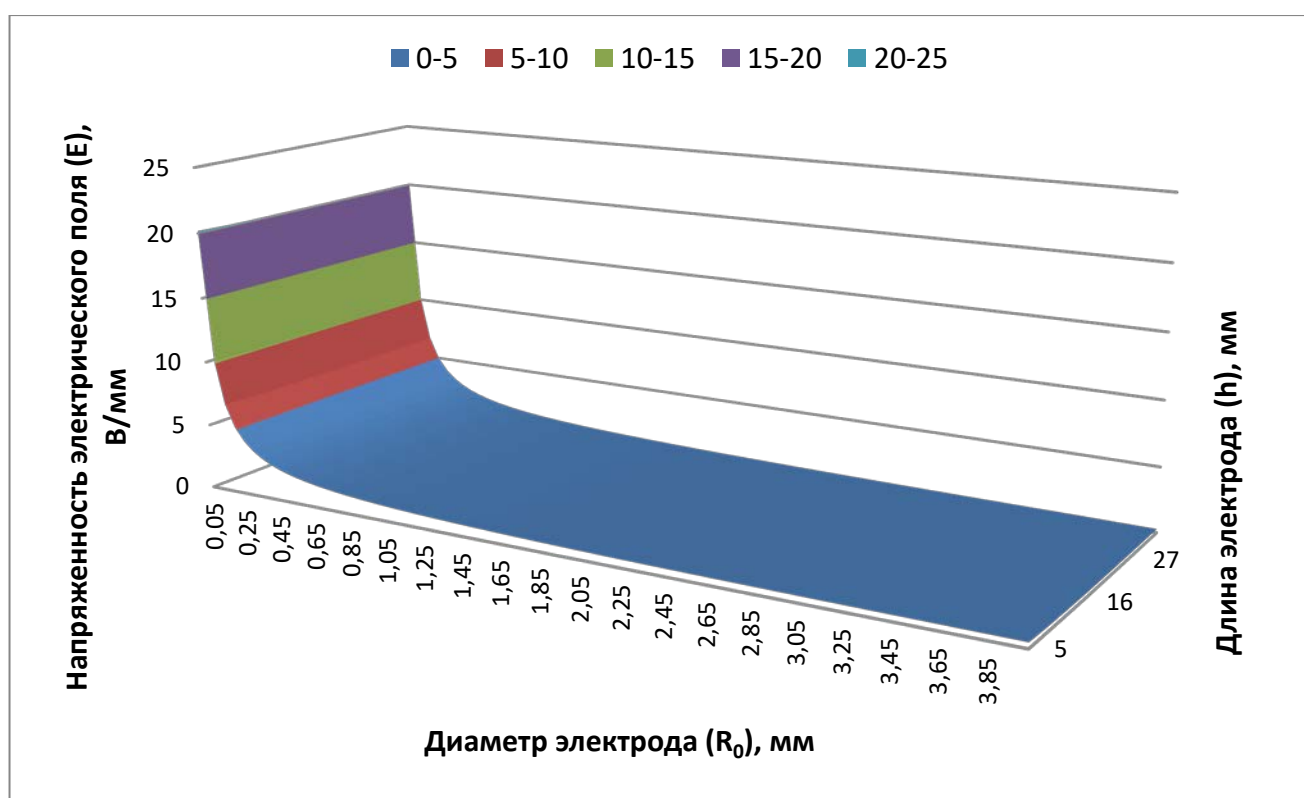


Рисунок 2.11 – Расчётная поверхность зависимости показателя напряжённости электрического поля в разрядном промежутке от радиуса электрода R_0 и расстояния до проводящей плоскости h

Исходя из полученной расчётной поверхности на рисунке 2.10, можно сделать вывод, что значимым воздействующим фактором на напряжённость электрического поля является расстояние до проводящей плоскости. Радиус

штыревого электрода влияет на коронный разряд. Если его диапазон находится в пределах от 1,5 мм и ниже, то это способствует увеличению напряжённости электрического поля. Поэтому для обеспечения максимальной напряжённости и равномерного коронного разряда рекомендовано использовать в озонаторных установках расстояние разрядного промежутка от 25 до 35 мм, при радиусе штыревого электрода в диапазоне 0,05...1,5 мм.

Для рассмотренной системы потенциальных штыревых электродов (рисунок 2.10) был произведен расчёт показателей электрической ёмкости в системе из потенциальных электродов и проводящей плоскости, и получена расчётная поверхность зависимости показателя ёмкости (C) от длины электрода (l) и их количества (N). Расчётная поверхность представлена на рисунке 2.12. Полученные данные помогут оценить электрическую ёмкость представленной системы биполярных электродов с учётом площади проводящей плоскости.

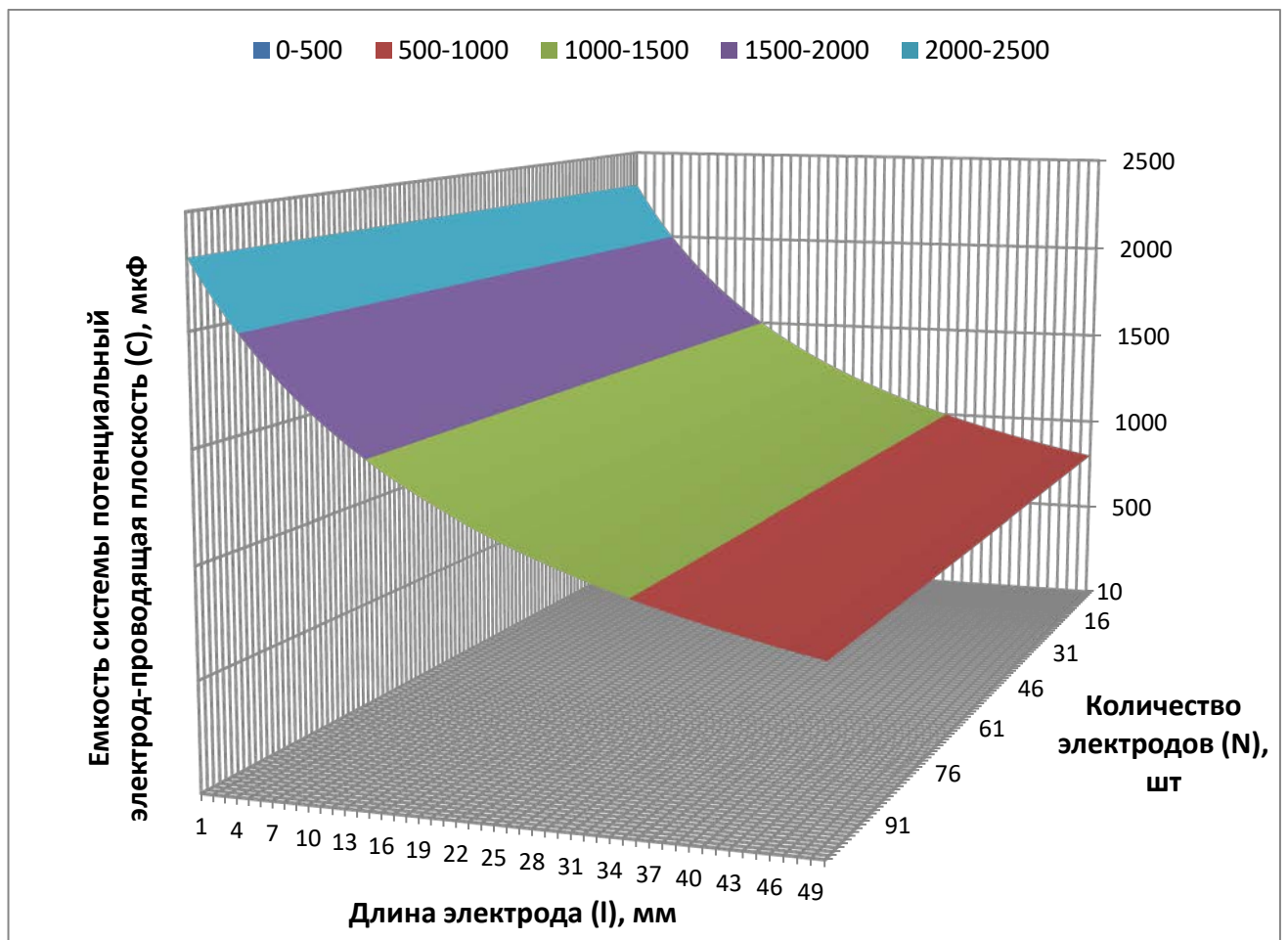


Рисунок 2.12 – Расчётная поверхность зависимости показателя электрической ёмкости C от длины электрода и их количества N

Исходя из полученной расчётной поверхности на рисунке 2.12, можно сделать вывод, что 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.

При проведении оценки показателя напряжённости электрического поля с учётом взаимного влияния соседних электродов (формула 2.56) была получена расчётная поверхность, характеризующая зависимость напряжённости (E) от расстояния разрядного промежутка (h) и воздействующего расстояния от электродов друг к другу (рисунок 2.13).

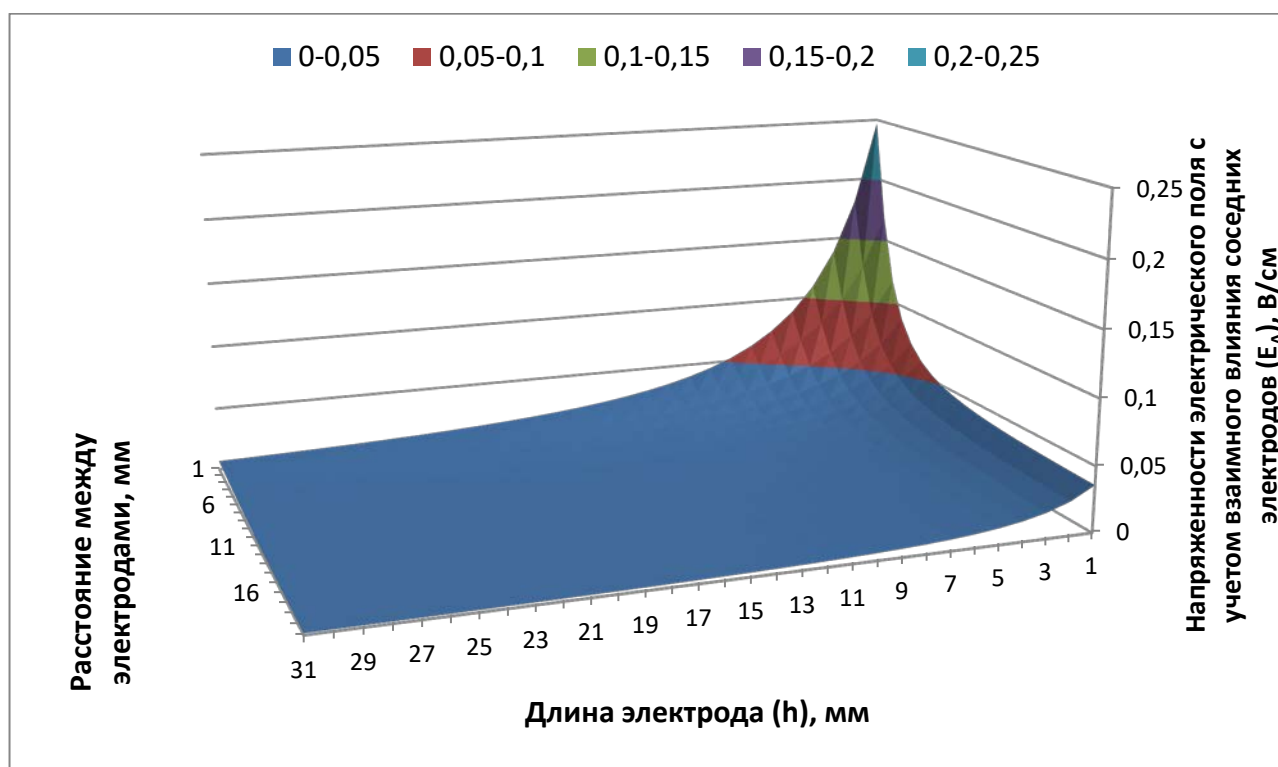


Рисунок 2.13 – Расчётная поверхность напряжённости электрического поля E от расстояния разрядного промежутка h и расстояния между электродами

Исходя из полученной расчётной поверхности на рисунке 2.13, можно сделать вывод, что наиболее значительное влияние на показатель напряжённости в контрольной точке «А» будет при длине электродов до 15 мм и расстоянии между ними до 10 мм.

2.3 Расчет технологических параметров электрического озонатора-излучателя воздуха

Работа системы создания озона должна быть сопоставима с работой системы подачи воздуха в производственное помещение или системой вентиляции. В результате чего произвели расчёт основных технологических параметров озонатора-излучателя воздуха. Максимальный часовой расход озона при использовании принудительной вентиляции можно оценить по формуле [4, 91-95]:

$$M_{O_3} = (L_6 \cdot q_{O_3, \max}) / k_{O_3}, \quad (2.69)$$

где L_6 – подача воздушных масс в производственное помещение, $m^3/ч$;

$q_{O_3, \max}$ – максимальная расходная доза озона, mg/m^3 ;

k_{O_3} – коэффициент эффективности использования озона.

На рисунке 2.14 проиллюстрирована расчётная поверхность максимального часового расхода озона при максимальной расходной дозе газообразного озона в диапазоне от 0,1 до 10 mg/m^3 .

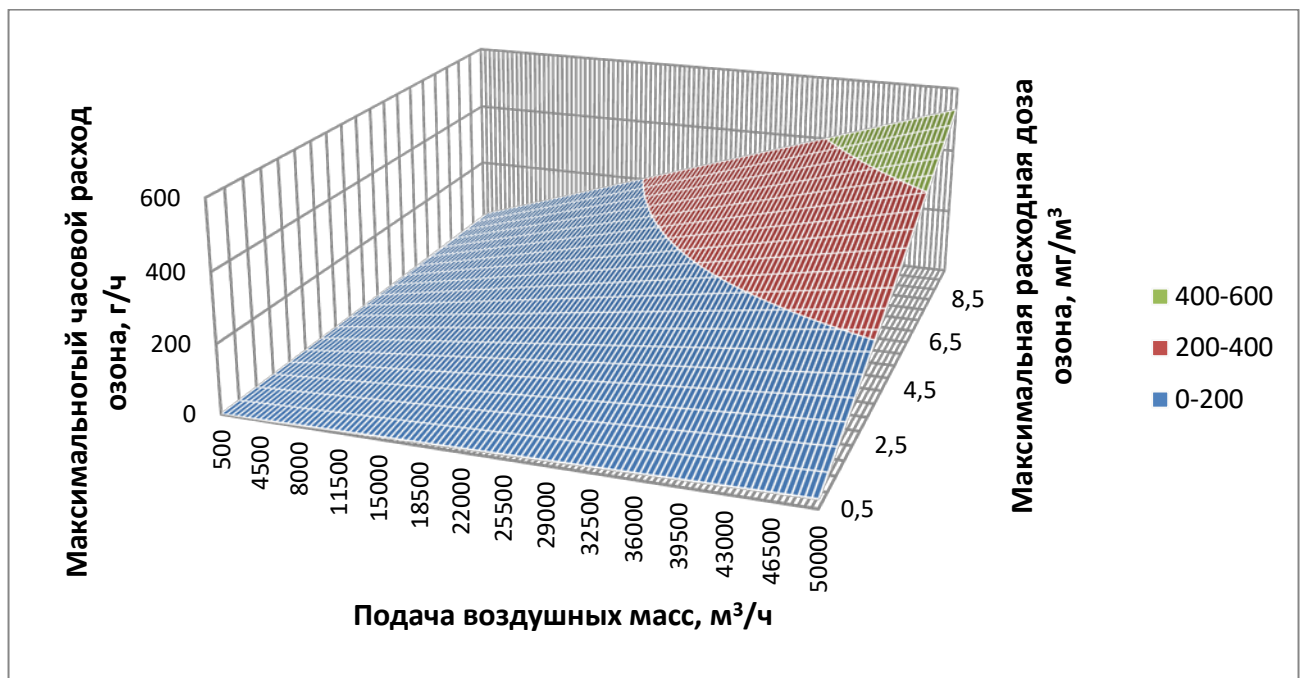


Рисунок 2.14 – Расчётная поверхность максимального часового расхода озона

Из рисунка 2.14 видно, что величина максимального часового расхода озона возрастает с увеличением подачи и максимальной расходной дозой газообразного озона.

При внедрении автономного модуля непосредственно в систему вентиляции и кондиционирования необходимо иметь не менее четырёх озонаторов для надёжности системы обеззараживания воздуха и равномерности распределения озono-воздушной смеси. Предлагаемый вариант размещения группы автономных модулей электрических озонаторов в систему вентиляции и кондиционирования помещения представлен на рисунке 2.15.

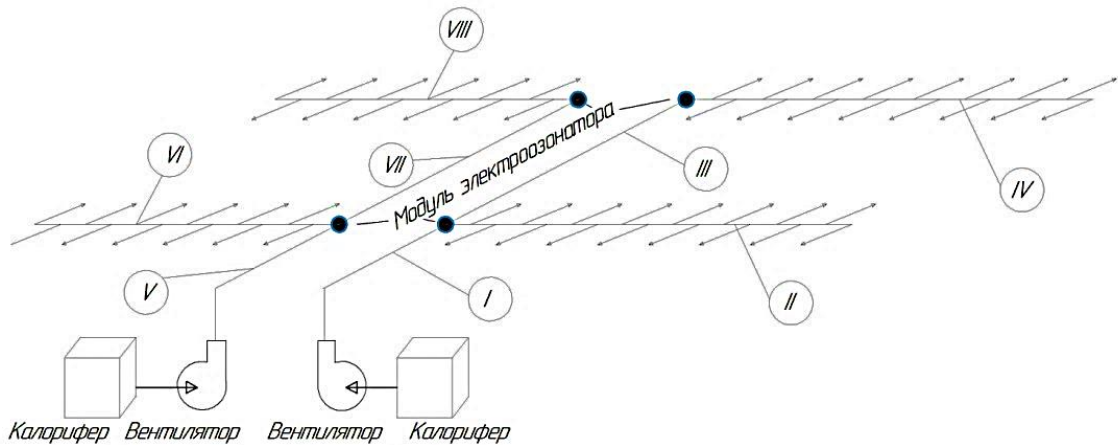


Рисунок 2.15 – Вариант размещения группы автономных модулей электрических озонаторов в систему вентиляции и кондиционирования помещения

Следовательно, максимальный часовой расход озона через один озонатор определяется по следующей формуле [93, 95, 96]:

$$M_{O_3 1} = M_{O_3} / n, \quad (2.70)$$

где n – количество озонаторов, шт.

Активная мощность электрического разряда озонатора, необходимая для выработки требуемого количества озона, определяется по следующей формуле [86]:

$$P = \frac{2}{\pi} U_{p.np.} \cdot 2\pi f \cdot (C_{эл.из.} \cdot (U_{э.из.} - U_{p.np.}) - C_{p.np.} \cdot U_{p.np.}), \quad (2.71)$$

где $U_{p.np.}$ – показатель напряжения в разрядном промежутке, В.;

f – частота питающей электрической сети, Гц.;

$C_{эл.}$ – показатель электрической ёмкости электродов излучателя, мкФ.;

$U_{э.из.}$ – показатель напряжения, переданный от источника высокого напряжения к электродам излучателя, В.;

$C_{p.пр.}$ – показатель электрической ёмкости в границах разрядного промежутка, мкФ.

С учётом выражения (2.72) была получена расчётная поверхность зависимости активной мощности коронного электрического разряда от показателя электрической ёмкости электродов излучателя и показателя электрической ёмкости в границах разрядного промежутка, которая представлена на рисунке 2.16.

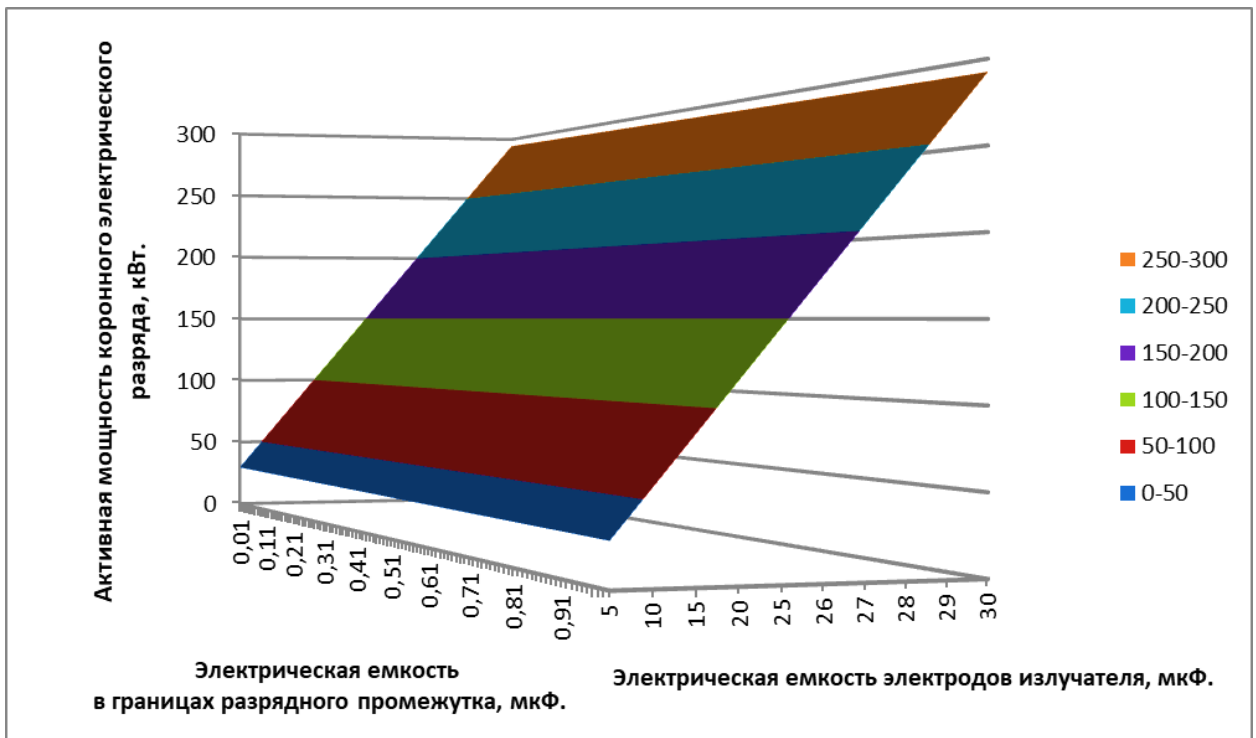


Рисунок 2.16 – Расчётная поверхность зависимость активной мощности коронного электрического разряда от показателя электрической ёмкости электродов излучателя и показателя электрической ёмкости в границах разрядного промежутка

Исходя из расчётной поверхности рисунка 2.15, можно сделать вывод, что на увеличение активной мощности коронного электрического разряда наибольшее влияние оказывает электрическая ёмкость электродов излучателя.

Расход электроэнергии и производительность озонатора пропорциональны частоте и максимальному напряжению. Значения C_3 и C_p определяются по формулам расчёта плоского конденсатора. Мощность трансформатора определяется по формуле:

$$Q_{mp} = P/\eta_e, \quad (2.72)$$

где η_e – ёмкостный коэффициент мощности (оптимальным считается $\eta_e=0,5\dots0,55$).

Расход сухого воздуха определяется по следующей формуле [93, 94, 97]:

$$q_6 = S_p \cdot v_6 \cdot 3600, \quad (2.73)$$

где S_p – площадь разрядного промежутка, м²;

v_6 – скорость прохода воздушных масс через разрядный промежуток, м/с.

Динамика расхода сухого воздуха в зависимости от площади разрядного промежутка и скорости прохода воздуха через разрядный промежуток представлена на рисунке 2.17.

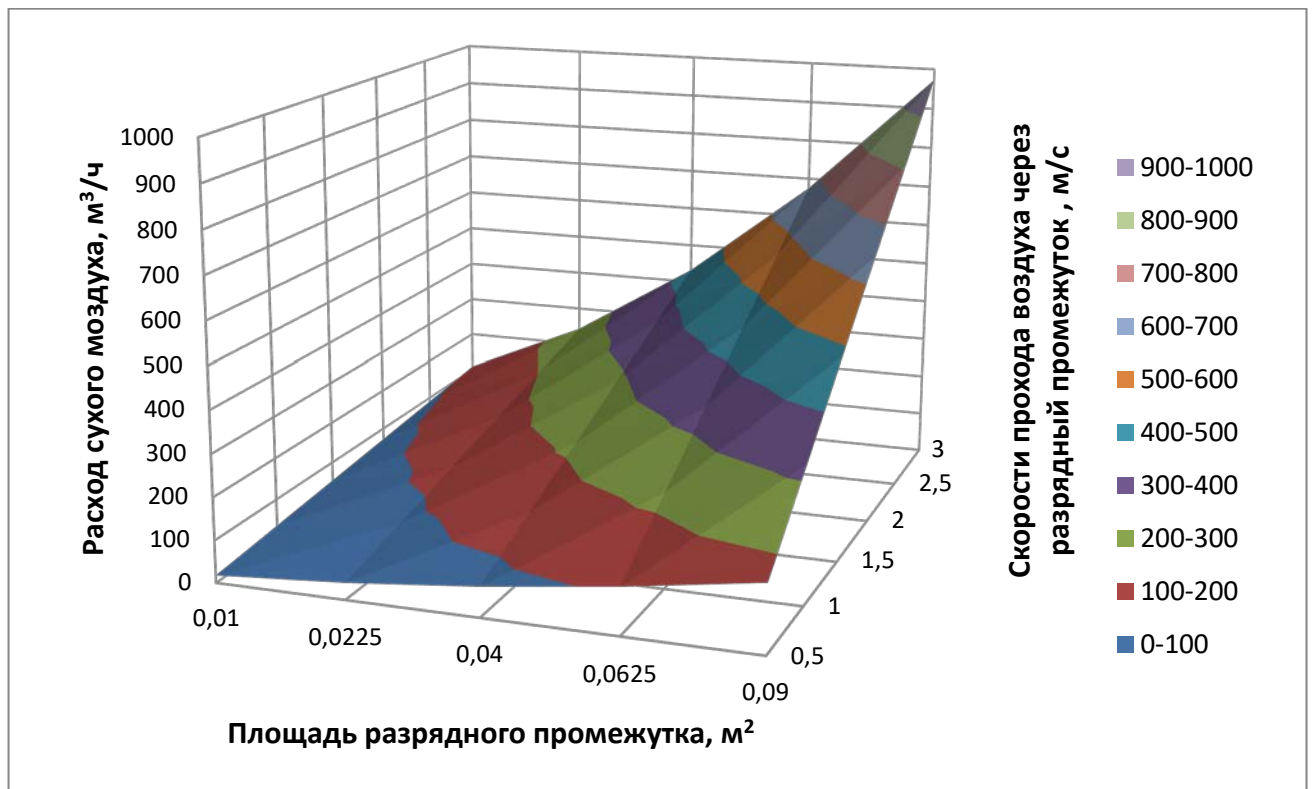


Рисунок 2.17 – Динамика расхода сухого воздуха в зависимости от площади разрядного промежутка и скорости прохода воздуха через разрядный промежуток

Согласно приведенной расчётной поверхности можно констатировать, что величина расхода воздуха возрастает с увеличением площади разрядного промежутка и скорости прохода через него.

Количество воздуха, необходимого для электрического синтеза озона из кислорода:

$$Q_6 = M_{O_3} / K_{O_3}, \quad (2.74)$$

где K_{O_3} – коэффициент весовой концентрации озона в кислороде, находящегося в воздушной среде, $K_{O_3} = 0,3 \text{ мг/м}^3$.

В качестве генератора высокого напряжения автономного модуля электрического озонатора воздуха используется регулируемый источник. Принцип действия генератора заключается в повышении сетевого напряжения высоковольтным трансформатором, выпрямлении диодным мостом высокого переменного напряжения и создании на электрической ёмкости (конденсаторах) удвоенного амплитудного значения входного напряжения. Соответственно, конденсаторы и диоды схемы должны быть рассчитаны на необходимое напряжение. Располагать элементы умножителя нужно таким образом, чтобы обеспечить максимальное расстояние между выходными выводами, а также между умножителем, схемой преобразователя, корпусом устройства и т.д. Выходящее напряжение генератора высокого напряжения определяется по следующей формуле:

$$U_{\text{вых}} = n \cdot U_{\text{в.}}, \quad (2.75)$$

где n – количество каскадов, шт;

$U_{\text{в.}}$ – входящее напряжение на умножитель, В.

Количество каскадов (кратность напряжения) составит:

$$n = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}, \quad (2.76)$$

Расчётная поверхность, характеризующая зависимость напряжения, подаваемого на электроды излучателя, от напряжения питающей сети и количества каскадов построена по формуле (2.75) и показана на рисунке 2.17.

В соответствии с формулой (2.75) и графиком, представленным на рисунке 2.18, для обеспечения стабильного выходного напряжения в диапазоне 10...30 кВ необходимо задействовать от 50 до 200 выходных каскадов.

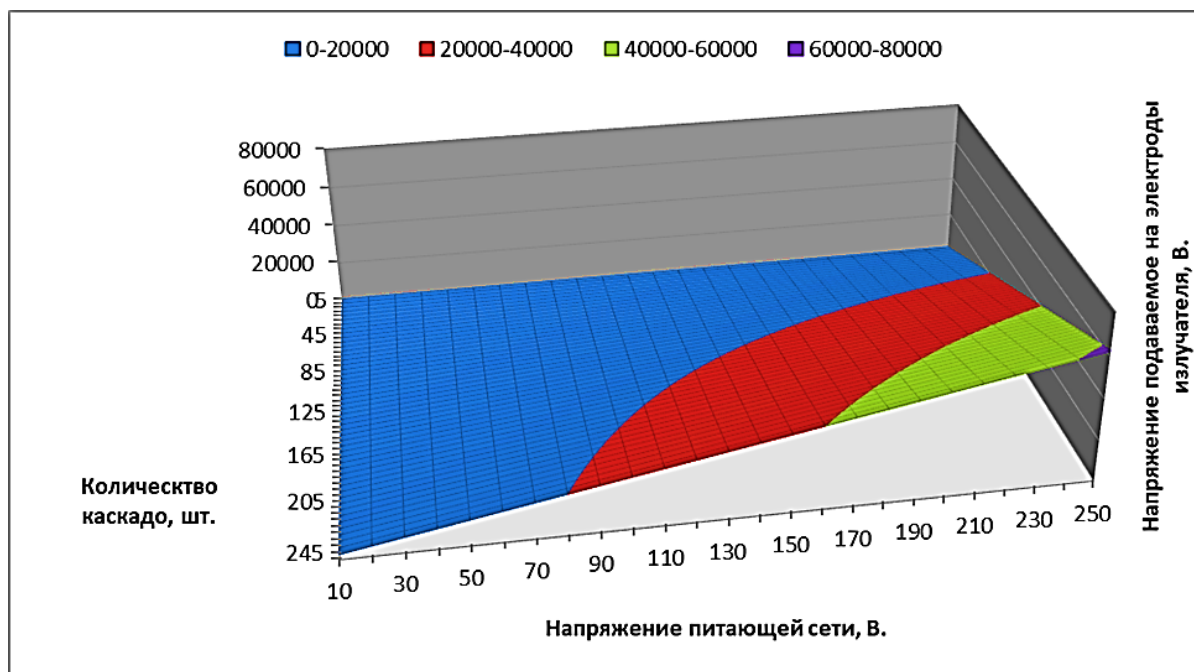


Рисунок 2.18 – Зависимость выходящего напряжения от количества каскадов

Для того чтобы добиться повышения эффективности работы источника высокого напряжения с умножителем напряжения каскадного типа, необходимо использовать специальные плоские конденсаторы с определённым показателем ёмкостных характеристик. Расчётную ёмкость конденсаторов умножителя можно определить по формуле [93, 94, 97, 98]:

$$C_{\text{сумн.}} = \frac{2,85 \cdot n \cdot I}{k_n \cdot U_{\text{в.}}}, \quad (2.77)$$

где n – количество каскадов в схеме умножителя напряжения, шт.;

I – токовая нагрузка на выходе из умножителя напряжения, мА;

k_n – коэффициент, характеризующий пульсацию полученного напряжения генератором высокого напряжения, как правило варьируется в диапазоне $k_n = 0,01 \dots 0,05$.

Расчётная поверхность, характеризующая зависимость ёмкости плоских конденсаторов в умножителе напряжения от коэффициента пульсации напряжения на выходе из источника высокого напряжения и токовой нагрузки, построена по формуле (2.77) и представлена на рисунке 2.19.

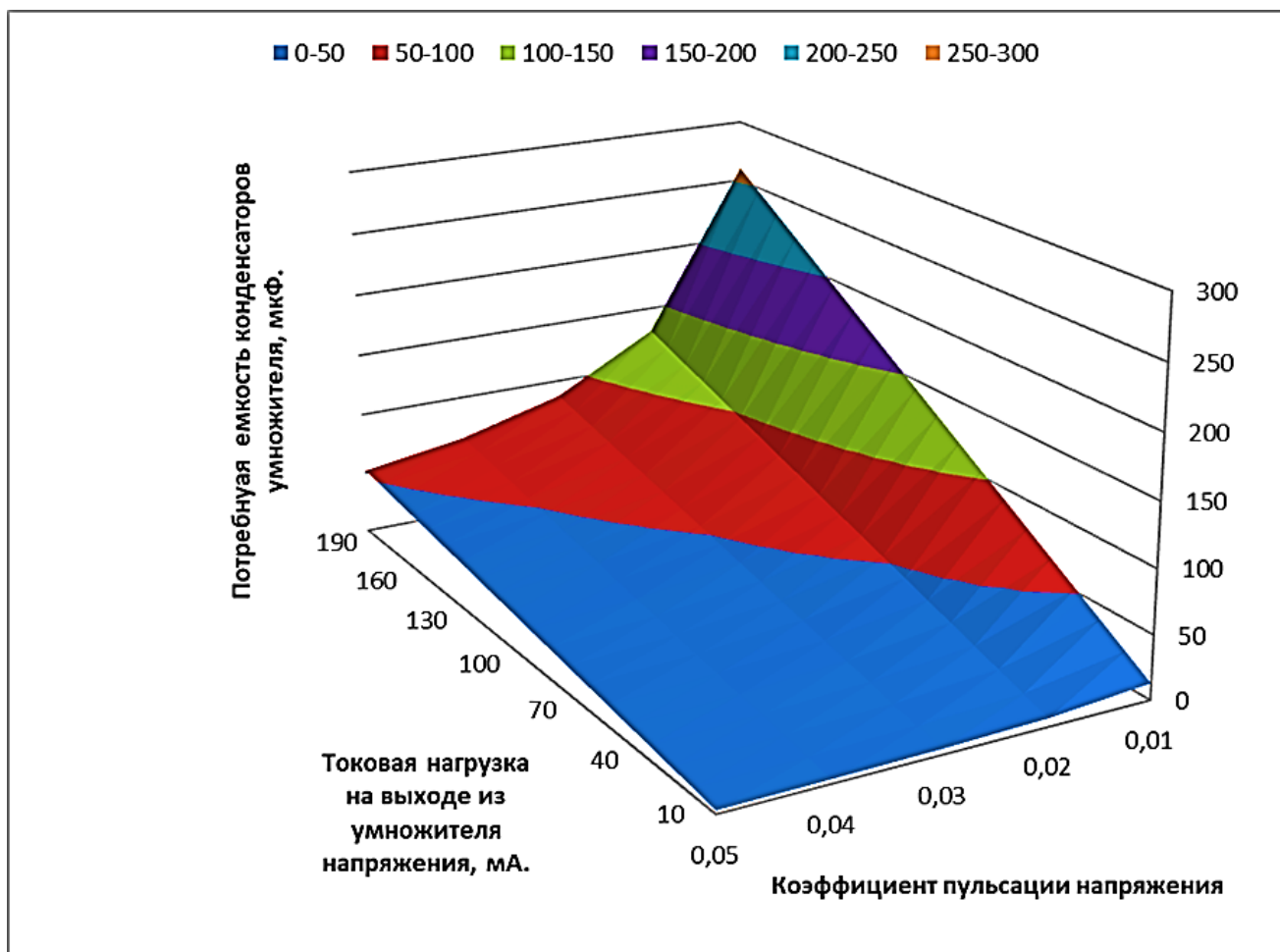


Рисунок 2.19 – Зависимость ёмкости плоских конденсаторов в умножителе напряжения от коэффициента пульсации напряжения на выходе из источника высокого напряжения и токовой нагрузки

Согласно приведенной расчётной поверхности можно заключить, что величина минимальной ёмкости конденсаторов возрастает с увеличением тока нагрузки и снижением коэффициента пульсации выходного напряжения. Но стоит отметить, что если ёмкость первого конденсатора в каскаде не увеличить в 3 раза от расчётной ёмкости, то полное напряжение на выходе схемы появится через несколько периодов входного напряжения.

2.4 Выводы по главе

В главе рассмотрены общие вопросы озонообразования и способы применения коронного разряда.

Проведены теоретические исследования процесса озонообразования в коронном разряде и разработаны математические модели, учитывающие

взаимосвязь между конструктивными и электрическими параметрами озонатора воздуха для обеспечения рекомендуемой напряжённости электрического поля при озонировании. Проведено численное моделирование влияния конструктивных параметров системы электродов на электрические параметры озонатора воздуха. Отмечено, что значимым воздействующим фактором на напряжённость электрического поля является расстояние до проводящей плоскости. Кроме того, радиус штыревого электрода напрямую воздействует на образование коронного разряда, а в диапазонах от 1,5 мм и ниже способствует изменению напряжённости электрического поля в сторону увеличения. Поэтому для обеспечения максимальной напряжённости и равномерного коронного разряда рекомендуем использовать в озонаторных установках расстояние разрядного промежутка от 25,0 до 35,0 мм, при радиусе штыревого электрода в диапазоне 0,05...1,50 мм.

Получены расчётные выражения, позволяющие оценить электрическую ёмкость для площади проводящей плоскости. Выведенные формулы учитывают параметры электрода, их количество и расстояние до проводящей плоскости. Установлено, что с увеличением длины штыревых электродов, электрическая ёмкость разрядного промежутка уменьшается. Наиболее значительное влияние на показатель электрической ёмкости системы из потенциальных штыревых электродов и проводящей плоскости осуществляется при длине электрода до 35,0 мм, после чего система будет стремиться к установившемуся показателю электрической ёмкости.

Предложена модель расчёта напряжённости электрического поля в разрядном промежутке, учитывающая влияние соседних электродов. С уменьшением расстояния между электродами и расстояния до проводящей плоскости напряжённость электрического поля возрастает. Определили, что наиболее значительное влияние на показатель напряжённости в контрольной точке «А» будет при длине электродов до 15,0 мм и расстоянии между ними до 10,0 мм.

На основе проведенных технологических расчётов установлено, что величина максимального часового расхода озона возрастает с увеличением

подачи и максимальной расходной дозы озона, а величина расхода воздуха возрастает с увеличением площади разрядного промежутка и скорости прохода воздуха через него.

Установлено, что величина минимальной ёмкости конденсаторов возрастает с увеличением тока нагрузки и снижением коэффициента пульсации выходного напряжения. Если ёмкость первого конденсатора в каскаде не увеличить в 3 раза от расчётной ёмкости, то полное напряжение на выходе схемы появится через несколько периодов входного напряжения.

Глава 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

3.1 Разработка конструкции электрического озонатора-излучателя

Электрический озонатор воздуха, разработанный на базе ФГБОУ Белгородский ГАУ, относится к устройствам для синтеза газообразного озона в области электротехнологий. В дальнейшем, с целью осуществления профилактических мероприятий для предотвращения распространения заразных болезней среди животных, он может применяться для обеззараживания и улучшения показателей качества воздушной среды по газовому составу в производственных помещениях сельскохозяйственного назначения [99-104].

Исследования проведены на основе патентного поиска и анализа литературы о технических характеристиках устройств для электроозонирования воздуха в животноводческих помещениях. Для проведения экспериментальных исследований была разработана конструкция озонатора-излучателя. «Прототипом» разработки выступал озонатор, включающий в себя источник высоковольтного переменного напряжения, электроды и вентилятор. Устройство имело существенные недостатки в виде невысокой производительности, низкого показателя надежности электродов, а также отсутствия защиты от включения и выключения работы устройства в случае отказа работы вентилятора или аварийного режима работы генератора высокого напряжения [63].

В разработанной конструкции излучатель состоит из двух керамических оснований с закрепленными на них вольфрамовыми электродами. На одном основании проводящая плоскость выполнена в виде сетки с сотовой формой ячейки, на другом – в виде стержня с остриём в виде полусферы. Возможность регулировки воздушного зазора между электродами позволяет проводить регулировку производительности излучателя и повысить эффективность работы электрического озонатора, в целом. Электротехническая керамика служит для более эффективного охлаждения электродов и обеспечения диэлектрической прослойки с целью предотвращения нерегулируемого срыва коронного разряда на

корпус устройства.

На конструкцию электроозонатора получены патенты [105-108]:

- на полезную модель № 204184 «Электрический озонатор воздуха» Бюл. №14 от 13.05.2021 г.;

- на полезную модель №205379 «Электрический озонатор воздуха» Бюл. №20 от 13.07.2021 г.;

- на изобретение №2787881 «Электроозонатор» Бюл. № 2 от 13.01.2023 г.

Схема излучателя электроозонатора (а) и внешний вид (б) представлена на рисунке 3.1.

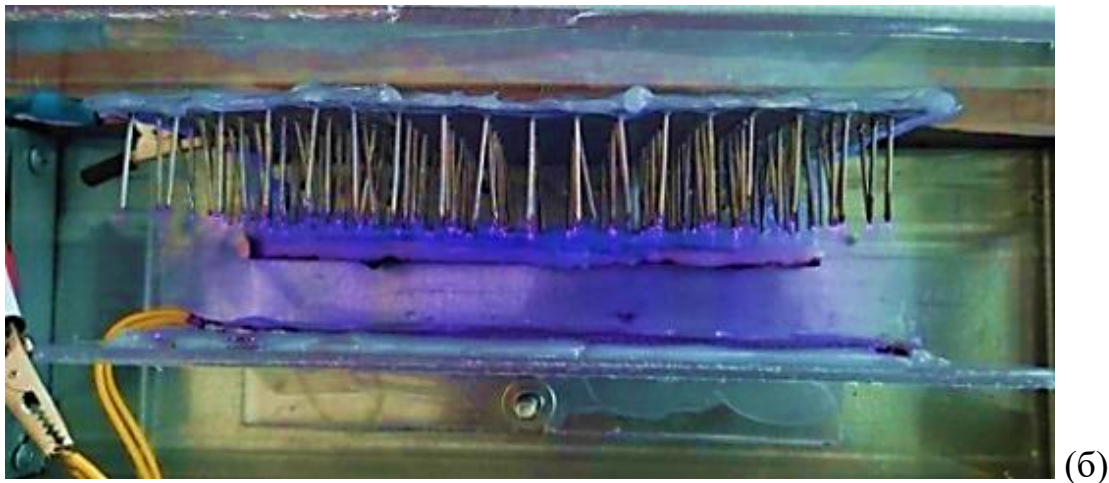
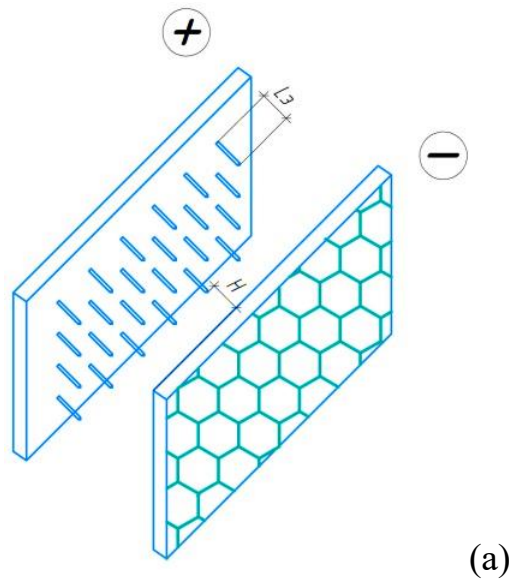


Рисунок 3.1 – Схема излучателя электроозонатора (а) и внешний вид (б)
 L_3 – длина электрода; H – расстояние от электрода до проводящей плоскости

Технология процесса озонирования воздуха в животноводческом помещении и способ её реализации иллюстрируется структурной схемой, представленной на рисунке 3.2 [107, 108]. В основу технической реализации положена предлагаемая конструкция электрического озонатора воздуха, работающего на основе коронирующего разряда, и система озонирования воздуха для обеспечения обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях.

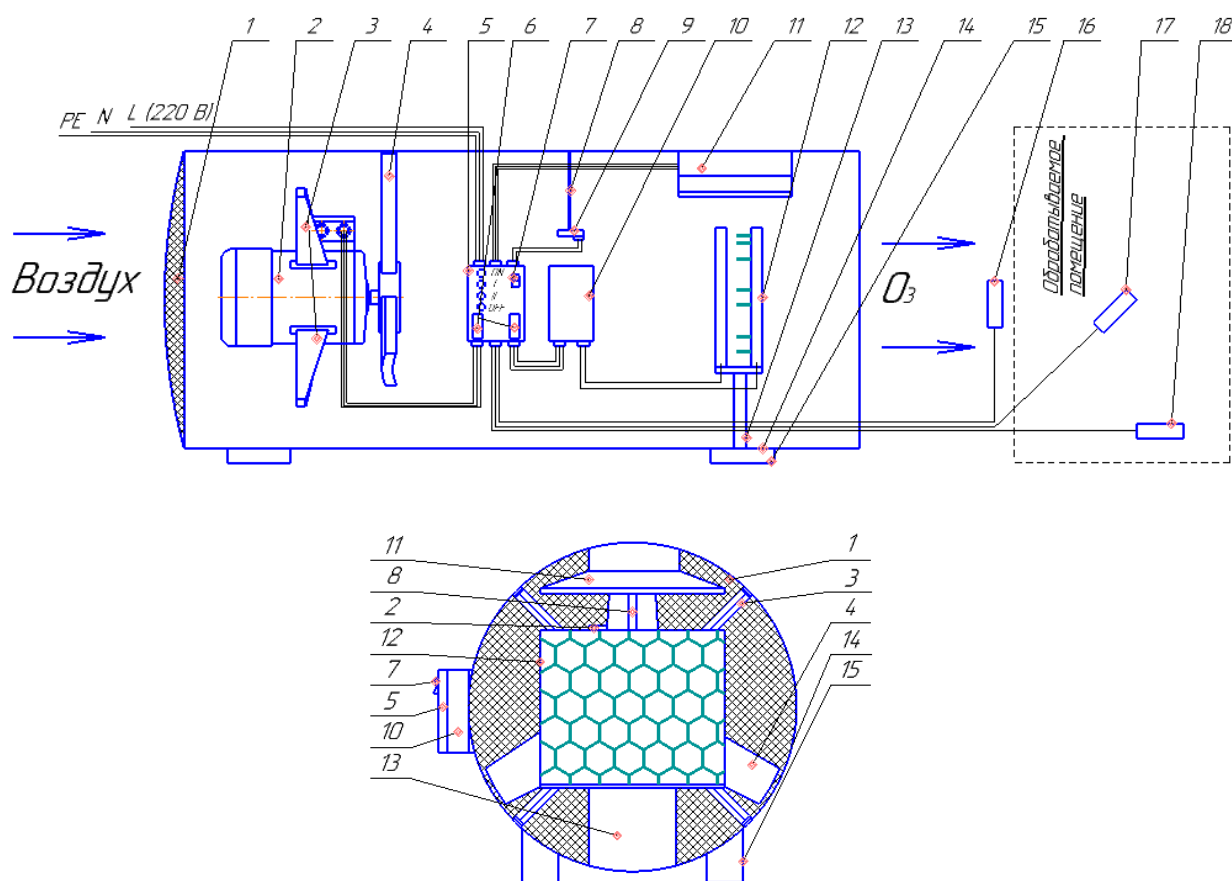


Рисунок 3.2 – Конструкция электрического озонатора воздуха

- 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 – озоноустойчивый корпус; 15 – прорезиненные ножки;
 16 – датчик озона; 17 – датчик контроля озона; 18 – датчик контроля температуры воздуха

Электроозонатор состоит из прорезиненных ножек (15), на которые установлен озоноустойчивый корпус (14). К озоноустойчивому корпусу (14) прикреплены защитная сетка (1), компрессор (11) и электродвигатель (2) с закреплёнными лопастями вентилятора (4). Для надёжной фиксации

электрической машины (2) на ней предусмотрены лапки крепления (3) в виде салазок. Лопасти вентилятора (4) закреплены на электродвигателе (2) для засасывания воздушных масс извне и подачи их на вакуумный флюгер (9). Вакуумный флюгер (9) закреплён в озоноустойчивом корпусе (14) на кронштейне крепления (8). На вакуумном флюгере (9) установлены электрические контакты, которые подключены к блоку управления (5). Регулируемый генератор высокого напряжения (10) закреплён на озоноустойчивом корпусе (14) для формирования необходимого напряжения и обеспечения коронирующего разряда на излучателе (12), выполненного в виде двух керамических оснований с закреплёнными на них вольфрамовыми электродами в виде стержня с остриём в виде полусферы. Излучатель (12) прикреплён к озоноустойчивому корпусу (14) посредством кронштейна крепления (13). Датчик озона (16) установлен на выходе из озоноустойчивого корпуса (14). Датчик контроля озона (17) и датчик контроля температуры воздуха (18) выведены за пределы конструкции озонатора и установлены в обрабатываемом газообразным озоном помещении. Блок управления (5) и регулируемый генератор высокого напряжения (10) размещены на внешней панели озоноустойчивого корпуса (14). Кнопка включения/выключения (7) и предохранители (6) электродвигателя (2), регулируемого генератора высокого напряжения и компрессора (11) размещены на блоке управления (5).

Методика работы предлагаемой конструкции озонатора-излучателя. На прорезиненные ножки (15) закрепляют озоноустойчивый корпус (14). В озоноустойчивом корпусе (14) устанавливают на лапки крепления (3) электродвигатель (2), на который производят монтаж лопастей вентилятора (4). Фиксируют защитную сетку (1) на озоноустойчивый корпус (14). Нажимают кнопку включения/выключения (7) на блоке управления (5), выбирают режим работы и через предохранители (6) направляют напряжение сначала на компрессор (11), благодаря чему осуществляют процесс продувки модуля излучателя (12) от пыли, затем перенаправляют напряжение на электродвигатель (2). С помощью электрической машины (2) раскручивают лопасти вентилятора (4)

и создают давление воздуха, которое направляют по озоноустойчивому корпусу (14) на вакуумный флюгер (9), который монтируют на кронштейн крепления (8). Давлением воздуха воздействуют на вакуумный флюгер (9), в котором изменяют показатель разряжения воздуха и формируют электрический сигнал, направляя в блок управления (5), в котором обрабатывают сигнал о включении электродвигателя (2). Затем подают питание на регулируемый генератор высокого напряжения (10).

Необходимо отметить, что в разработанном экспериментальном образце электроозонатора в качестве генератора высокого напряжения (10) был выбран импульсный источник. На его конденсаторах развивается удвоенное амплитудное значение входного напряжения. Соответственно, конденсаторы и диоды схемы могут быть рассчитаны на необходимое напряжение. Элементы умножителя рекомендовано собирать таким образом, чтобы обеспечить максимальное расстояние между выходными выводами, а также между умножителем, схемой преобразователя, корпусом устройства и т.д. Напряжение на диодах и конденсаторах умножителя должно регулироваться в диапазоне от 10 до 30 кВ (меняется в зависимости из набора схемы) [107-114].

Схема умножителя напряжения представлена на рисунке 3.3.

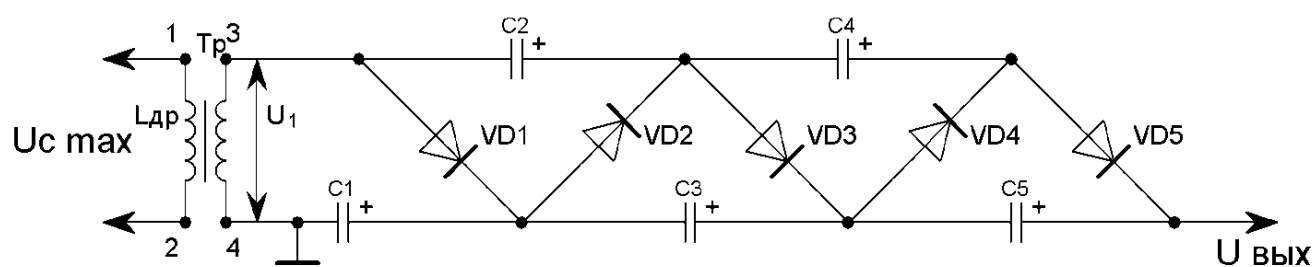


Рисунок 3.3 – Схема умножителя напряжения

В регулируемом генераторе высокого напряжения (10) формируют требуемое напряжение и направляют его на излучатель (12), выполненного 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, который монтируют на кронштейн крепления (13). На

излучателе (12) создают электрический коронирующий разряд с током короны 0,4 мкА и напряжением короны от 10000 В.

Коронирующий разряд в излучателе (12) пропускают через поток воздуха от лопастей вентилятора (4), которые приводятся в движение электродвигателем (2), в результате чего генерируется озono-воздушная смесь. Полученное вещество направляют от излучателя (12) потоком воздушных масс от лопастей вентилятора (4), которые приводятся в движение электродвигателем (2). Далее газообразный озон перемещается по озonoустойчивому корпусу (14) на датчик озона (16), который размещают на выходе из озонатора-излучателя. Затем озono-воздушную смесь направляют в обрабатываемое помещение, где она взаимодействует с датчиками контроля озона (17) и температуры воздуха (18). Датчиком озона (16) определяют концентрацию озона на выходе из электроозонатора, датчиком контроля озона (17) и датчиком контроля температуры воздуха (18) – концентрацию озона и температуру воздушных масс в помещении. Показания датчиков поступают на блок управления (5), где рассчитываются параметры работы электроозонатора, в зависимости от режима работы. Сформированный сигнал подается на электродвигатель (2) и регулируемый генератор высокого напряжения (10). Основные технические параметры разработанного электрического озонатора представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные технические параметры проектируемого электрического озонатора

Параметр	Показатель
Концентрация озона на выходе, мг/м ³	0,01...12
Объем помещения, м ³	350...3600
Продолжительность работы, ч	0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 4
Потребляемая мощность, Вт	500...4000
Температурный диапазон, °С	-10...+35
Напряжение, В	220

3.1.1 Режимы управления автономным модулем озонатора-излучателя

Для упрощения конструкции и увеличения эффективности работы системы электрического озонирования воздуха рекомендуем комбинировать её вместе с системой вентиляции и кондиционирования производственного помещения. Данные мероприятия позволят обеспечить равномерную концентрацию озона за счёт эффективной компоновки расположения генераторов озона и их синергичной работы по такому параметру, как производительность. Как известно, в аналогах существует проблема нестабильной работы излучающего устройства и отсутствие равномерности распределения озона в воздушной среде и по обрабатываемым поверхностям в помещениях сельскохозяйственного назначения. Поэтому нами предложена блок-схема управления системой электрического озонирования (рисунок 3.4.).

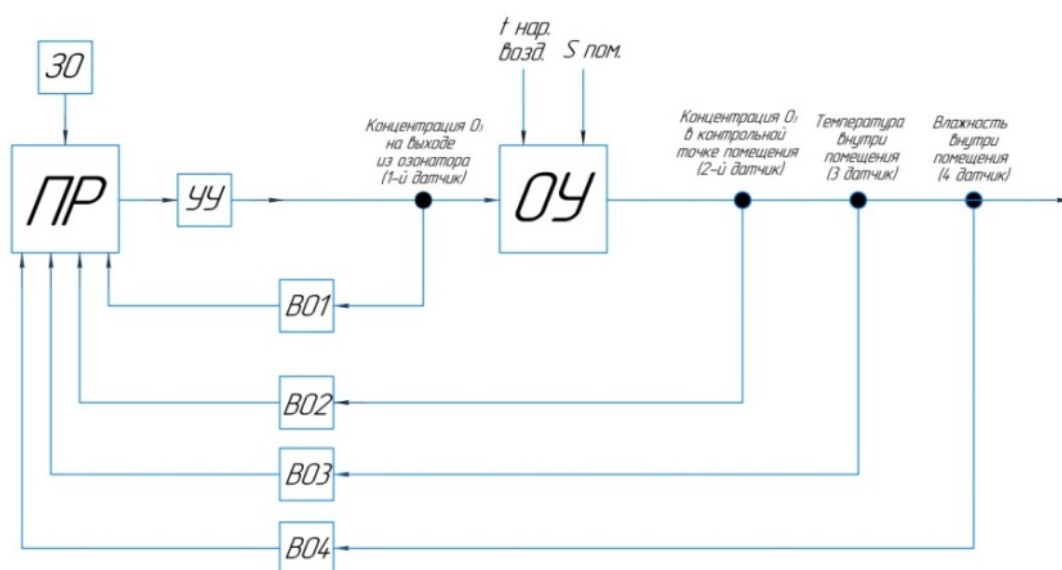


Рисунок 3.4 – Блок-схема управления системой электрического озонирования
 ЗО – задающий орган; ПР – программный регулятор, УУ – управляющее устройство (озонатор);
 ОУ – объект управления (помещение); ВО – воздействующий орган (датчики);
 $t_{нар.возд.}$ – температура наружного воздуха; $S_{пом.}$ – площадь производственного помещения

В представленной блок-схеме рекомендовано применение минимум двух датчиков озона (на одно озонаторное устройство), а также датчика температуры и влажности воздуха. Один датчик монтируется на выходе из озонаторной установки, а другие – в контрольной точке обрабатываемого помещения. Первый

датчик озона согласно требованиям технологического процесса служит для стабилизации концентрации газообразного озона в зоне озонобразования (модуль излучателя). Второй датчик озона формирует сигнал о концентрации озона в контрольной точке. Датчики температуры и влажности отправляют сигнал на блок управления с учётом контролируемых показателей воздушной среды помещения. Блок управления обрабатывает полученные сигналы с датчиков и формирует соответствующий ответ логической системы – увеличить или уменьшить подачу озона воздушной смеси за счёт изменения напряжения и разрядного промежутка в модуле излучателя и давления, создаваемого лопастями электровентилятора [109 - 117].

Сравнительный анализ данных литературных источников показал, что спроектированная система электрического озонирования воздуха в животноводческих помещениях будет более эффективна при работе в двух режимах:

- первый – на уровне предельно допустимой концентрации озона-воздушной смеси для живого макроорганизма;
- второй – выше предельно допустимой концентрации, так называемой «глубокой» обработки воздушной среды и поверхностей (применяется только при отсутствии животных и обслуживающего персонала внутри производственного помещения).

При первом режиме работы концентрация газообразного озона составляет $0,1 \text{ мг/м}^3$, что позволяет снизить содержание вредных газов (аммиака, сероводорода и др.) на 60% и 40% – обсеменённости бактериями и плесенью. В этом режиме допустимо присутствие животных и людей в производственных помещениях. Основной целью данного режима является активизация физиолого-биохимических процессов, профилактика заболеваний инфекционной этиологии, повышение продуктивности и сохранности животных.

Второй режим – это озонирование с разной экспозицией и концентрациями озона-воздушной смеси. Концентрации озона от $0,1 \text{ мг/м}^3$ и выше. Этот режим может применяться для стерилизации воздушной среды и поверхностей

помещения в отсутствие животных и людей.

Также разработана и предложена структурная схема системы озонирования животноводческих помещений (рисунок 3.5).

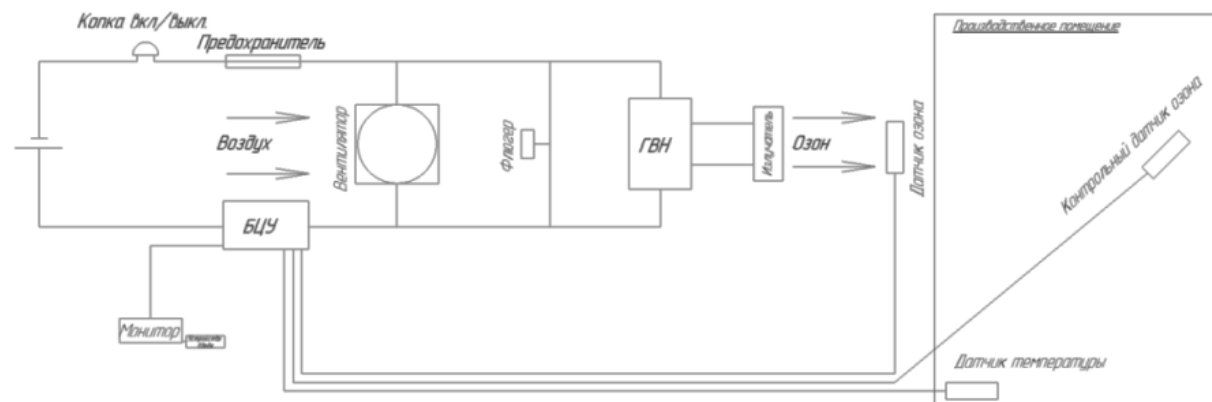


Рисунок 3.5 – Структурная схема системы озонирования животноводческих помещений

3.2 Общая программа экспериментальных исследований

Экспериментальное обоснование технологических требований к процессу озонирования предполагает использование теории планирования эксперимента и регрессионного анализа для расчёта и определения оптимальных режимов на основе оценки качественных показателей [118-122]. При проведении экспериментальных исследований использовали следующие технические средства: макет и экспериментальный образец автономного модуля электрического озонатора-излучателя воздуха, комплекты измерительной аппаратуры. Обработку экспериментальных данных проводили с использованием ПЭВМ и пакета программ типа Statistica ver. 10.0, MS Excel 2010 и др.

Целью экспериментальных исследований являлось обоснование режимно-конструктивных параметров электрического озонатора воздуха животноводческих (производственных) помещений. Эффективность работы электрического озонатора воздуха зависит от многих воздействующих факторов. Поэтому для учёта влияния каждого из факторов необходимо получить регрессионное уравнение (регрессионную модель), в котором влияние каждого из факторов учитывается в эмпирических коэффициентах. На основе регрессионного

уравнения можно проводить анализ влияния каждого из воздействующих факторов и проводить поиск оптимального их сочетания [118, 119].

Рабочий макет и экспериментальный образец автономного модуля электрического озонатора воздуха представлен на рисунках 3.6 и 3.7.



Рисунок 3.6 – Рабочий макет электроозонатора

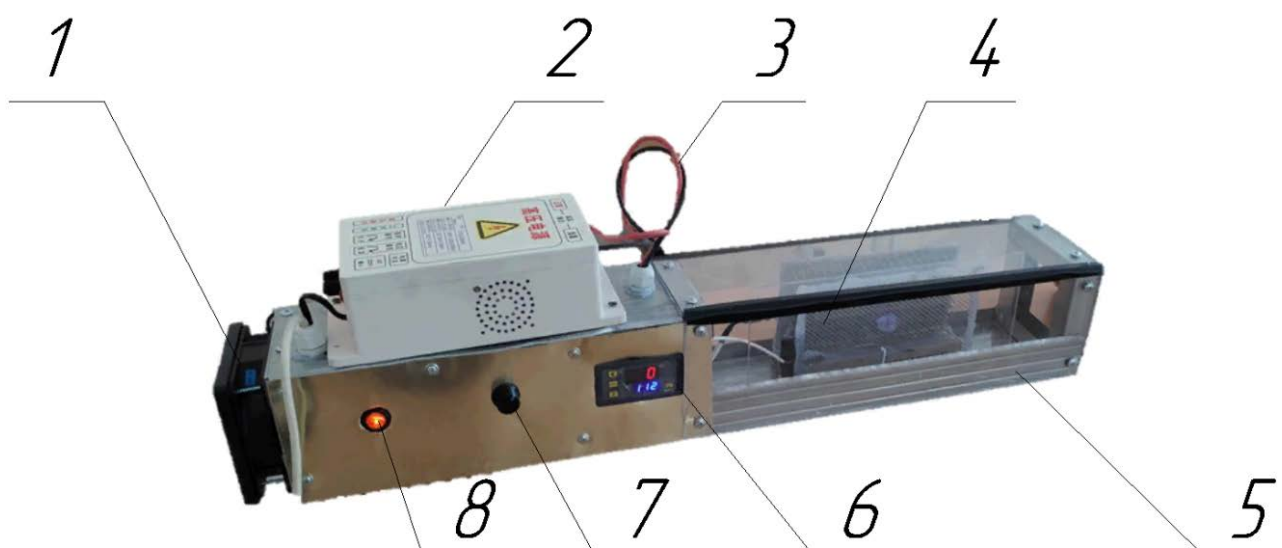


Рисунок 3.7 – Экспериментальный образец автономного модуля электрического озонатора-излучателя воздуха

- 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 от сети

Продолжение таблицы 3.2

№ п/п	x_1	x_2	y_{1n}	...	y_{ln}	...	$y_{\gamma n}$	\bar{y}_n	S_n^2
4	+	+	...	...	...	...	...	...	...
5	-	0	...	...	...	...	...	...	...
6	+	0	...	...	...	...	...	...	...
7	0	-	...	...	...	...	...	...	...
8	0	+	...	...	...	...	...	...	...
9	0	0	...	...	...	...	...	...	...

3. Расчёт среднеарифметических значений \bar{y}_n и построчных дисперсий S_n^2 в каждой точке плана.

4. Определение максимального квадрата отклонения экспериментальной точки от среднего значения при вычислении S_n^2 .

5. Внесение результатов расчётов в таблицу 3.2.

6. Определение суммы квадратов ошибок S_E без учёта нулевой точки в плане по следующим формулам:

$$S_E = \sum_{n=1}^N S_n^2 + S_9^2, \quad (3.2)$$

$$S_9^2 = \sum_{l=1}^{\gamma} (y_{l9} - \bar{y}_n)^2. \quad (3.3)$$

7. Установление числа степеней свободы дисперсии воспроизводимости:

$$f_2 = (N + N_0)(\gamma - 1), \quad (3.4)$$

где N – число точек в плане без учёта нулевой ($N = 8$);

N_0 – число точек в центре плана ($N_0 = 1$);

γ – число параллельных опытов в точке плана (число повторностей).

8. Определение дисперсии воспроизводимости (дисперсия ошибок наблюдений):

$$S^2 = S_E / (f_2 / \gamma) \quad (3.5)$$

9. Оценка воспроизводимости опытов с использованием критерия Кохрена:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{S_E} \leq G_{\alpha}(\gamma - 1, N + N_0), \quad (3.6)$$

где $G_{\alpha}(\gamma - 1, N + N_0)$ – табличное значение критерия Кохрена при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Если $G < G_{\alpha}(\gamma - 1, N + N_0)$, то опыт с S_{\max}^2 исключают из рассмотрения или повторяют его в целях выяснения вопроса, случайным ли оказалось отклонение.

Порядок заполнения данных приведен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Порядок заполнения данных

№ п/п	$x_1 \bar{y}_n$	$x_2 \bar{y}_n$	$x_1 x_2 \bar{y}_n$	$x_{1.2} \bar{y}_n$	$x_{2.2} \bar{y}_n$	\bar{y}_n
1	$-y_1$	$-y_1$	$+y_1$	$+y_1$	$+y_1$	y_1
2	$+y_2$	$-y_2$	$-y_2$	$+y_2$	$+y_2$	y_2
3	$-y_3$	$+y_3$	$-y_3$	$+y_3$	$+y_3$	y_3
4	$+y_4$	$+y_4$	$+y_4$	$+y_4$	$+y_4$	y_4
5	$-y_5$	0	0	$+y_5$	0	y_5
6	$+y_6$	0	0	$+y_6$	0	y_6
7	0	$-y_7$	0	0	$+y_7$	y_7
8	0	$+y_8$	0	0	$+y_8$	y_8
9	0	0	0	0	0	y_9

10. Расчёт коэффициентов математической модели по следующим формулам:

$$ny = \sum_5^8 \bar{y}_n, \quad (3.7)$$

$$0y = \sum_1^4 \bar{y}_n, \quad (3.8)$$

$$1y = \sum_1^6 \bar{y}_n x_{1n}, \quad (3.9)$$

$$2y = \sum_1^8 \bar{y}_n x_{2n}, \quad (3.10)$$

$$1.2y = \sum_1^4 \bar{y}_n x_1 x_2, \quad (3.11)$$

$$1.1y = \sum_5^6 \bar{y}_n x_1^2, \quad (3.12)$$

$$2.2y = \sum_7^8 \bar{y}_n x_2^2, \quad (3.13)$$

$$b_0 = c_1(ny) - c_2(0y) + c_3(y_9), \quad (3.14)$$

$$b_1 = \frac{1}{6}(1y), \quad (3.15)$$

$$b_2 = \frac{1}{6}(2y), \quad (3.16)$$

$$b_{1.2} = \frac{1}{6}(12y), \quad (3.17)$$

$$b_{1.1} = c_4(0y) + 0,5(1.1y) - c_5(ny) - c_6(y_9), \quad (3.18)$$

$$b_{2.2} = c_4(0y) + 0,5(2.2y) - c_5(ny) - c_6(y_9), \quad (3.19)$$

$$c_1 = \frac{2}{9}; c_2 = \frac{1}{9}; c_3 = \frac{5}{9}; c_4 = \frac{1}{6}; c_5 = \frac{1}{3}; c_6 = \frac{1}{3}, \quad (3.20)$$

11. Определение дисперсии коэффициентов:

$$S_0^2 = c_7 S^2, \quad (3.21)$$

$$S_i^2 = \frac{1}{6} S^2, \quad (3.22)$$

$$S_{ii}^2 = c_8 S^2, \quad (3.23)$$

$$S_{ji}^2 = \frac{1}{4} S^2, \quad (3.24)$$

$$\text{cov}(b_0 b_{ij}) = -c_9 S^2, \quad (3.25)$$

$$\text{cov}(b_{ii} b_{jj}) = -c_{10} S^2, \quad (3.26)$$

$$c_7 = \frac{5}{9}; c_8 = \frac{1}{2}; c_9 = \frac{1}{3}; c_{10} = 0. \quad (3.27)$$

12. Определение значимости коэффициентов математической модели по t-критерию Стьюдента:

$$|b| \geq t_{кр} S, \quad (3.28)$$

где $t_{кр}$ – критическое значение t-критерия Стьюдента для заданного уровня значимости α и f_2 степеней свободы;

S – дисперсия соответствующей группы коэффициентов.

В случае, если $|b| \geq t_{кр} S$, то этот коэффициент можно исключить из математической модели.

13. Проверка полученной математической модели на адекватность регрессии. Для этого вычисляются расчётные значения исследуемой величины по уравнению математической модели \dot{y}_n и построчные квадраты отклонений $(\dot{y}_n - \bar{y}_n)^2$. Порядок заполнения данных представлен в таблице 3.4

Таблица 3.4 – Порядок заполнения данных

№ п/п	b_0	$b_1 x_1$	$b_2 x_2$	$b_{1,2} x_1 x_2$	$b_{1,1} x_{1,2}$	$b_{2,2} x_{2,2}$	\dot{y}_n	\bar{y}_n	$\left(\dot{y}_n - \bar{y}_n\right)^2$
1	b_0	$-b_1$	$-b_2$	$+b_{1,2}$	$+b_{1,1}$	$+b_{2,2}$	\dot{y}_1	\bar{y}_1	...
2	b_0	$+b_1$	$-b_2$	$-b_{1,2}$	$+b_{1,1}$	$+b_{2,2}$	\dot{y}_2	\bar{y}_2	...
3	b_0	$-b_1$	$+b_2$	$-b_{1,2}$	$+b_{1,1}$	$+b_{2,2}$	\dot{y}_3	\bar{y}_3	...
4	b_0	$+b_1$	$+b_2$	$+b_{1,2}$	$+b_{1,1}$	$+b_{2,2}$	\dot{y}_4	\bar{y}_4	...
5	b_0	$-b_1$	0	0	$+b_{1,1}$	0	\dot{y}_5	\bar{y}_5	...
6	b_0	$+b_1$	0	0	$+b_{1,1}$	0	\dot{y}_6	\bar{y}_6	...
7	b_0	0	$-b_2$	0	0	$+b_{2,2}$	\dot{y}_7	\bar{y}_7	...
8	b_0	0	$+b_2$	0	0	$+b_{2,2}$	\dot{y}_8	\bar{y}_8	...
9	b_0	0	0	0	0	0	\dot{y}_9	\bar{y}_9	...

14. Расчёт остаточной суммы квадратов S_R без учёта нулевой точки в плане:

$$S_R = \sum_1^{N+N_0} \left(\dot{y}_n - \bar{y}_n \right)^2 = \sum_1^9 \left(\dot{y}_n - \bar{y}_n \right)^2 . \quad (3.29)$$

15. Определение числа степеней свободы f_1 для расчёта дисперсии адекватности:

$$f_1 = N + N_0 - q , \quad (3.30)$$

где q – число значимых коэффициентов с учётом свободного члена b_0 .

16. Установление расчётного значения F-критерия Фишера и сравнение с табличным значением $F_{кр}$. Модель адекватна, если соблюдается следующее условие:

$$F = \frac{\gamma S_R / f_1}{S_E / f_2} = \frac{S_{ад}}{S_{воспр}} < F_{кр} , \quad (3.31)$$

где $F_{кр}$ – табличное значение F-критерия Фишера для заданного уровня значимости $\alpha=0,05$ при степенях свободы f_1 и f_2 .

17. В случае неадекватности математической модели, или при оценке значимости квадратичных эффектов (коэффициентов при x_i) проводят сравнение свободного члена математической модели b_0 со среднеарифметическим значением исследуемого параметра в центре плана y_0 .

$$\left| \bar{y}_0 - b_0 \right| \leq t_{кр} S \sqrt{\frac{N_0 \gamma N}{N_0 N}} , \quad (3.32)$$

$$S = \sqrt{S^2} , \quad (3.33)$$

где N_0 – число точек в центре плана ($N_0=1$);

$t_{кр}$ – критическое значение t-критерия Стьюдента при уровне значимости α и степени свободы f_2 .

3.3 Методика проведения экспериментальных исследований по определению технических параметров электрического озонатора-излучателя воздуха

Первый опыт представляет собой исследование для определения зависимости генерируемой концентрации озона автономным модулем электроозонатора-излучателя в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и расстояния разрядного промежутка (между штыревым электродом и проводящей плоскостью). На базе экспериментального образца электроозонатора собран стенд, позволяющий измерить основные электрические параметры, определить их взаимосвязи с производительностью озонатора и выбором эффективных режимов работы [118-122]. Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 3.8.

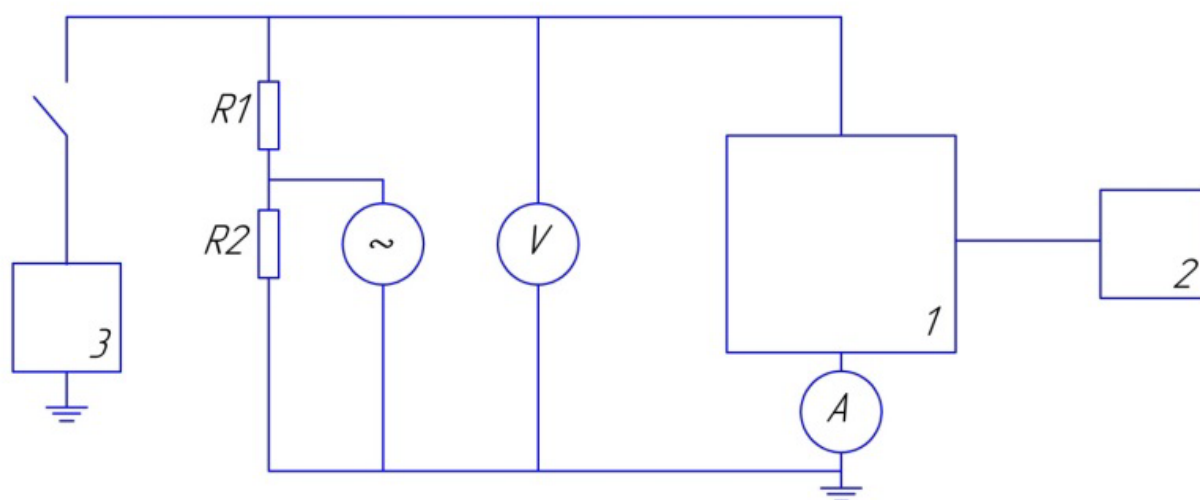


Рисунок 3.8 – Схема экспериментального стенда

1 – электрический озонатор воздуха; 2 – анализатор озона; 3 – генератор высокого напряжения;
 R1;R2 – делитель напряжения; ~ – осциллограф; V – вольтметр (0...30 кВ);
 A – амперметр (0...999 мА)

Для измерения режимных параметров работы экспериментальной установки использованы следующие измерительные приборы и средства: мультиметр (DT 9205A), киловольтметр статический (C197), миллиамперметр (АПТ-1А), анемометр (Smart Sensor AR816+), анализаторы озона (WELUOT DM509-O3; Элан O3), цифровой штангенциркуль (Inforce 06-11-39). Их внешний вид и основные технические характеристики представлены на рисунках 3.9–3.15.



Технические характеристики мультиметра DT 9205A:

Постоянное напряжение.....до 1 кВ;
 Постоянный ток.....до 20 А;
 Сопротивление.....до 200 МОм;
 Габариты.....186×86×41 мм;
 Диод-тест.....да;
 Индикация перегрузки.....да;
 Индикация полярности.....да;
 Защитный холстер.....да;
 Количество измерений в секунду.....3;
 Переменное напряжение.....до 750 В;
 Переменный ток.....до 20 А;
 Ёмкость.....до 200 мкФ;
 Диапазон рабочих температур....0...+40 °С;
 Масса.....0,3 кг.

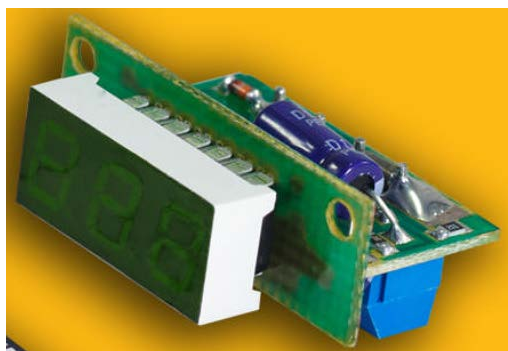
Рисунок 3.9 – Мультиметр DT 9205A



Технические характеристики киловольтметра С197:

Диапазоны измерений.....0...30 кВ;
 Предел допускаемой погрешности....±1.0%;
 Время установления показаний.....4 с;
 Габариты.....250×490×230 мм;
 Масса.....8,5 кг.

Рисунок 3.10 – Киловольтметр С197



Технические характеристики миллиамперметра АПТ-1А:

Диапазон измерений.....0,00 до 999 мА;
 Разрешающая способность.....1 мА;
 Напряжение питания прибора
 DC.....7,5...30 В;
 AC.....8...20 В;
 Потребляемый ток.....20 мА;
 Способ монтажа.....встраиваемый

Рисунок 3.11 – Миллиамперметра АПТ-1А

Технические характеристики
анализатора озона Элан ОЗ:



Способ отбора пробы.....всасывание;
 Диапазон измерений.....0...1 мг/м³;
 Погрешность.....± 0,02 мг/м³;
 Рабочая температура.....-10...50 °С;
 Габариты.....150×70×180 мм;
 Масса.....0,9 кг.

Рисунок 3.12 – Анализатор озона Элан ОЗ



Технические характеристики анализатора озона
WELUOT DM509-O3:

Метод обнаружения ПМ.....электрохимия;
 Время выборки.....1,5 с;
 Диапазон измерений.....0,000...5,000 ppm;
 Разрешение.....0,001 ppm;
 Габариты.....164×74×26 мм;
 Масса.....0,5 кг.

Рисунок 3.13 – Анализатор озона WELUOT DM509-O3



Технические характеристики
анемометра SmSensor AR816+:

Диапазон измерений.....0,3...30м/сек;
 Погрешность.....±5%;
 Температурный режим.....0...45°C;
 Единицы измерения.....°C/°F;
 Тип датчика.....лопастной встроенный;
 Габариты.....105×40×15мм;
 Масса.....0,05 кг.

Рисунок 3.14 – Анемометр Smart Sensor AR816+



Технические характеристики цифрового
штангенциркуля Inforce 06-11-39:

Диапазон измерений.....до 150 мм;
 Погрешность.....20 мкм;
 Размер шага.....0,01 мм;
 Габариты.....235 мм;
 Масса.....0,15 кг.

Рисунок 3.15 – Цифровой штангенциркуль Inforce 06-11-39

Экспериментальные исследования работы электрического озонатора проведены в соответствии с реализацией плана второго порядка Коно (Д-оптимального плана) для двухфакторного эксперимента. За основные воздействующие варьируемые факторы были приняты: напряжение на излучателе (x_1); расстояние разрядного промежутка (между разнопотенциальными штыревым электродом и проводящей плоскостью) (x_2). В качестве функции отклика измеряли выходные параметры озонатора-излучателя по генерации газообразного озона (y). Эксперимент выполнен при следующих условиях: температура воздуха в помещении – +25 °С; относительная влажность воздуха – 67 %; скорость движения воздуха, создаваемая вентилятором озонатора-излучателя – 0,3 м/с. Значения и интервал варьируемых факторов для первого опыта приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Значения и интервал варьирования факторов в кодированных и натуральных переменных

Воздействующий варьируемый фактор экспериментального исследования	Значение в кодированных и натуральных переменных					Интервал (Δ)
	-1	-0,5	0	0,5	+1	
Расстояние между штыревым электродом и проводящей плоскостью (x_2), мм	25	27,5	30	32,5	35	2,5
Напряжение на излучателе лабораторного электроозонатора (x_1), кВ	10	15	20	25	30	5

Согласно расчётной матрице для двухфакторного эксперимента с реализацией плана второго порядка Коно составлен план эксперимента для первого опыта, представленный в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – План двухфакторного эксперимента

№ п/п	x_1	x_2	y_{1n}	y_{2n}	y_{3n}	y_{4n}	$\Sigma y_{\gamma n}$	y_{cp}	S_n^2	S_{n1}^2	S_{n2}^2	S_{n3}^2	S_{n4}^2
1	-1	-1	0,91	0,67	0,85	0,68	3,11	0,7775	0,043875	0,01756	0,0116	0,0052562	0,00950625
2	+1	-1	0,04	0,01	0,03	0,03	0,10	0,0250	0,000900	0,00023	0,0006	0,000025	0,00002500
3	-1	+1	10,00	8,74	9,96	10,00	38,70	9,6750	1,166700	0,10563	0,8742	0,081225	0,10562500

Продолжение таблицы 3.6.

№ п/п	x ₁	x ₂	y _{1n}	y _{2n}	y _{3n}	y _{4n}	Σy_{yn}	y _{ср}	S _n ²	S _{n1} ²	S _{n2} ²	S _{n3} ²	S _{n4} ²
4	+1	+1	5,00	3,68	4,80	4,98	18,46	4,6150	1,189900	0,14823	0,8742	0,034225	0,13322500
5	-1	0	3,65	2,15	2,95	3,72	12,47	3,1175	1,610675	0,28356	0,9361	0,0280563	0,36300625
6	+1	0	0,11	0,08	0,31	0,08	0,58	0,1450	0,036900	0,00123	0,0042	0,027225	0,00422500
7	0	-1	0,47	0,25	0,28	0,42	1,42	0,3550	0,034100	0,01323	0,0110	0,005625	0,00422500
8	0	+1	7,85	6,67	7,55	8,25	30,32	7,5800	1,350800	0,07290	0,8281	0,000900	0,44890000
9	0	0	2,35	1,51	1,10	2,87	7,83	1,9575	1,922275	0,15406	0,2003	0,7353063	0,83265625

Целью **второго опыта** являлось определение зависимости температуры на разнопотенциальных электродах излучателя в зависимости от натуральных значений напряжения на нём и продолжительности работы автономного модуля электроозонатора-излучателя.

Опыт проведен на собранном экспериментальном стенде (рисунок 3.8) при следующих условиях: температура воздуха в помещении – +25 °С; относительная влажность воздуха – 65 %; расстояние между разнопотенциальными электродом и проводящей плоскостью – 30 мм; скорость движения воздуха, создаваемая вентилятором озонатора-излучателя – 0,3 м/с.

Для измерения показателей и определения эффективных режимных параметров работы озонатора-излучателя (рисунок 3.7) в составе экспериментального стенда (рисунок 3.8) установки были использованы следующие измерительные приборы и средства: киловольтметр статический (C197), анемометр (Smart Sensor AR816+), цифровой штангенциркуль (Inforce 06-11-39), таймер (LCD Digital Display Microcomputer Time Controller) и пирометр (Kraftool TRM-1000).

Приборы и их основные технические характеристики представлены на рисунках 3.10, 3.14–3.17.



Рисунок 3.16 – Таймер LCD Digital Display Microcomputer Time Controller



Технические характеристики пирометра Kraftool TRM-1000:

Диапазон измерения.....	-50...+950 °C;
Время отклика.....	0,5 с;
Лазерный прицел.....	да;
Оптическое разрешение.....	12:1;
Точность.....	±1 °C;
Коэффициент эмиссии.....	0,1...1,0;
Габариты.....	270×210×60 мм;
Масса.....	650 г.

Рисунок 3.17 – Пирометр Kraftool TRM-1000

Экспериментальные исследования по определению эффективных режимов работы электрического озонатора-излучателя выполнены в соответствии с реализацией плана второго порядка Коно для двухфакторного эксперимента. За

варьируемые факторы приняты: напряжение на разнотенциальных электродах излучателя (x_1); продолжительность работы автономного лабораторного образца автономного модуля электроозонатора-излучателя (x_2). В качестве функции отклика измерялась температура на разнотенциальных электродах излучателя (y). Значения и интервал варьируемых факторов второго опыта приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Значения и интервал варьирования факторов в кодированных и натуральных переменных

Воздействующий варьируемый фактор экспериментального исследования	Значение в кодированных и натуральных переменных					Интервал (Δ)
	-1	-0,5	0	0,5	+1	
Напряжение на излучателе лабораторного электроозонатора- излучателя (x_1), кВ	20	22,5	25	27,5	30	2,5
Продолжительность работы автономного лабораторного образца модуля электроозонатора-излучателя (x_2), мин	0	20	40	60	80	20

Согласно расчетной матрице для двухфакторного эксперимента с реализацией плана второго порядка Коно составлен план эксперимента для второго опыта (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – План двухфакторного эксперимента

№ п/п	x_1	x_2	y_{1n}	y_{2n}	y_{3n}	y_{4n}	Σy_{yn}	y_{cp}	S_n^2	S_{n1}^2	S_{n2}^2	S_{n3}^2	S_{n4}^2
1	-1	-1	25,5	26,1	25,9	25,7	103,2	25,800	0,2000	0,09000	0,0900	0,010000	0,010000
2	+1	-1	25,5	26,0	26,4	25,7	103,6	25,900	0,4600	0,16000	0,0100	0,250000	0,040000
3	-1	+1	31,1	31,6	31,4	30,8	124,9	31,225	0,3675	0,01562	0,1406	0,030625	0,180625
4	+1	+1	35,1	34,6	35,5	36,0	141,2	35,300	1,0600	0,04000	0,4900	0,040000	0,490000
5	-1	0	28,2	28,5	28,8	27,7	113,2	28,300	0,6600	0,01000	0,0400	0,250000	0,360000
6	+1	0	31,2	30,9	31,7	30,5	124,3	31,075	0,7675	0,01563	0,0306	0,390625	0,330625
7	0	-1	25,5	25,8	25,5	26,2	103,0	25,750	0,3300	0,06250	0,0025	0,062500	0,202500
8	0	+1	33,3	33,7	34,1	33,0	134,1	33,525	0,6875	0,05063	0,0306	0,330625	0,275625
9	0	0	30,4	31	29,5	31,1	122,0	30,500	1,6200	0,01000	0,2500	1,000000	0,360000

В основе **третьего опыта** находятся исследования по определению зависимости концентрации газообразного озона в зоне озонобразования (модуль излучателя) на разнопотенциальных электродах излучателя в зависимости от натуральных значений напряжения и продолжительности работы электроозонатора-излучателя. Опыт выполнен на собранном экспериментальном стенде (рисунок 3.8).

Условия проведения эксперимента: температура воздуха в помещении – +25 °С; относительная влажность воздуха – 65 %; расстояние между разнопотенциальными электродами и проводящей плоскостью – 30 мм; скорость движения воздуха создаваемая вентилятором озонатора-излучателя – 0,3 м/с.

В данном опыте для определения эффективных режимов работы озонатора-излучателя применяли следующие измерительные приборы и средства (рисунки 3.9, 3.10, 3.13-3.15, 3.17): мультиметр (DT 9205A), киловольтметр статический (C197), анализатор озона (WELUOT DM509-O3), анемометр (Smart Sensor AR816+), цифровой штангенциркуль (Inforce 06-11-39), таймер (LCD Digital Display Microcomputer Time Controller).

Экспериментальные исследования по определению эффективных режимов работы электрического озонатора-излучателя проведены в соответствии с реализацией плана второго порядка Коно для двухфакторного эксперимента. В качестве варьируемых факторов были приняты: напряжение на разнопотенциальных электродах излучателя (x_1) и продолжительность работы разработанного автономного модуля электроозонатора-излучателя (x_2). В качестве функции отклика учитывали выходные параметры экспериментальной установки озонатора-излучателя по генерации газообразного озона (y).

Значения и интервал варьируемых факторов третьего опыта приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Значения и интервал варьирования факторов в кодированных и натуральных переменных

Воздействующий варьируемый фактор экспериментального исследования	Значение в кодированных и натуральных переменных					Интервал (Δ)
	-1	-0,5	0	0,5	+1	
Напряжение на излучателе лабораторного электроозонатора (x_1), кВ	10	15	20	25	30	5
Продолжительность работы автономного лабораторного образца электроозонатора (x_2), мин	0	20	40	60	80	20

Согласно расчетной матрице для двухфакторного эксперимента с реализацией плана второго порядка Коно составлен план эксперимента третьего опыта, который представлен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – План двухфакторного эксперимента

№ п/п	x_1	x_2	y_{1n}	y_{2n}	y_{3n}	y_{4n}	Σy_{yn}	y_{cp}	S_n^2	S_{n1}^2	S_{n2}^2	S_{n3}^2	S_{n4}^2
1	-1	-1	2,224	2,133	2,548	2,050	8,955	2,2387	0,142663	0,0002	0,0112	0,095636	0,035627
2	+1	-1	7,625	7,663	6,880	7,203	29,371	7,3427	0,415893	0,0797	0,1026	0,214138	0,019530
3	-1	+1	1,46	1,298	1,395	1,220	5,373	1,3433	0,033547	0,0136	0,002	0,002678	0,015191
4	+1	+1	5,403	5,802	5,207	5,333	21,745	5,4363	0,198095	0,0011	0,1338	0,052556	0,010661
5	-1	0	1,746	1,609	1,679	1,588	6,622	1,6555	0,015461	0,0082	0,0022	0,000552	0,004556
6	+1	0	5,816	6,161	5,709	6,201	23,887	5,9718	0,181667	0,0243	0,0358	0,069038	0,052556
7	0	-1	5,157	4,955	5,244	4,860	20,216	5,0540	0,094146	0,0106	0,0098	0,036100	0,037636
8	0	+1	3,605	3,548	3,403	3,302	13,858	3,4645	0,056901	0,0197	0,007	0,003782	0,026406
9	0	0	3,978	4,052	3,873	4,102	16,005	4,0013	0,02971	0,0005	0,0026	0,016448	0,010151

Четвёртый опыт представляет собой трехфакторный эксперимент и поставлен для более подробного исследования определения зависимости концентрации газообразного озона (y_1) и температуры электродов (y_2) в зависимости от натуральных значений напряжения на разнопотенциальных электродах излучателя (x_1), разрядного промежутка (x_2) и продолжительности работы установки (x_3). Опыт проведен на собранном экспериментальном стенде (рисунок 3.8) и при следующих условиях: температура воздуха в помещении –

+25 °С; относительная влажность воздуха – 65 %; скорость движения воздуха создаваемая вентилятором озонатора-излучателя – 0,3 м/с. Факторы, определяющие изменчивость оптимизируемых параметров, четвёртого опыта представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Факторы, определяющие изменчивость оптимизируемых параметров

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

Для измерения и определения эффективных режимных параметров работы экспериментальной установки озонатора-излучателя использованы измерительные приборы и средства (рисунки 3.9, 3.10, 3.13-3.15, 3.17): мультиметр (DT 9205A), киловольтметр статический (C197), анализатор озона (WELUOT DM509-O3), анемометр (Smart Sensor AR816+), цифровой штангенциркуль (Inforce 06-11-39), таймер (LCD Digital Display Microcomputer Time Controller) и пирометр (Kraftool TRM-1000).

Согласно расчётной матрице для трехфакторного эксперимента составлен план эксперимента для определения зависимости концентрации газообразного озона (y_1) и температуры электродов (y_2). План трёхфакторного эксперимента четвёртого опыта представлен в таблицах 3.12 и 3.13.

Таблица 3.12 – План трёхфакторного эксперимента

№ п/п	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходные параметры				
	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_4	$y_{ср}$
1	-1	-1	0	20	25	40	2,741	2,592	3,020	2,191	2,635
2	+1	-1	0	30	25	40	7,922	7,777	7,682	8,142	7,878
3	-1	+1	0	20	35	40	0,061	0,080	0,081	0,092	0,078

Продолжение таблицы 3.12.

№ п/п	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходные параметры				
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y _{ср}
4	+1	+1	0	30	35	40	3,150	2,742	3,330	2,811	3,008
5	-1	0	-1	20	30	0	2,224	2,133	2,548	2,197	2,239
6	+1	0	-1	30	30	0	7,625	7,663	7,408	7,488	7,478
7	-1	0	+1	20	30	80	1,460	1,298	1,395	1,322	1,343
8	+1	0	+1	30	30	80	5,403	5,750	2,207	5,377	5,424
9	0	-1	-1	25	25	0	6,121	6,382	6,922	5,834	6,313
10	0	+1	-1	25	35	0	1,702	1,855	2,400	1,621	1,883
11	0	-1	+1	25	25	80	4,761	4,582	4,644	4,050	4,508
12	0	+1	+1	20	35	80	1,051	0,952	1,022	0,911	0,980
13	0	0	0	25	30	40	3,978	4,052	3,873	4,000	4,001
14	0	0	0	25	30	40	4,215	3,888	4,05	3,980	4,100
15	0	0	0	25	30	40	4,080	3,688	3,881	4,000	3,770

Таблица 3.13 – План трёхфакторного эксперимента

№ п/п	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходные параметры				
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y _{ср}
1	-1	-1	0	20	25	40	29,20	28,90	29,50	30,10	29,425
2	+1	-1	0	30	25	40	31,30	31,90	32,20	32,00	31,850
3	-1	+1	0	20	35	40	27,00	27,50	26,80	27,30	27,151
4	+1	+1	0	30	35	40	27,50	27,20	27,70	26,90	27,333
5	-1	0	-1	20	30	0	25,50	26,10	25,90	25,70	25,802
6	+1	0	-1	30	30	0	25,50	26,00	26,40	25,70	25,901
7	-1	0	+1	20	30	80	31,10	31,60	31,40	31,00	31,225
8	+1	0	+1	30	30	80	35,10	34,60	35,50	35,20	35,300
9	0	-1	-1	25	25	0	25,60	25,90	25,50	26,10	25,708
10	0	+1	-1	25	30	0	25,50	25,80	25,50	26,00	25,606
11	0	-1	+1	25	25	80	33,10	33,50	33,90	34,40	33,730
12	0	+1	+1	20	35	80	29,80	30,10	30,30	30,30	30,131
13	0	0	0	25	30	40	30,40	30,80	29,70	30,30	30,500
14	0	0	0	25	30	40	29,90	30,50	30,10	29,80	29,912
15	0	0	0	25	30	40	30,10	31,00	30,90	30,50	30,950

3.4 Методика проведения экспериментальных исследований процесса озонирования помещения с применением электрического озонатора-излучателя воздуха

Пятый опыт – определение влияния концентрации газообразного озона на изменение показателей патогенной микрофлоры (общее микробное число (ОМЧ),

стафилококк, плесень) в воздушной среде помещения (площадью 144 м²) и получение эмпирической модели их взаимосвязи [123]. Опыт проводился с использованием экспериментального образца автономного модуля электроозонатора (рисунки 3.7 и 3.18) при следующих условиях: температура воздуха в помещении – +20 °С; относительная влажность воздуха – 68 %; скорость движения воздуха, создаваемая вентилятором озонатора-излучателя – 0,5 м/с.

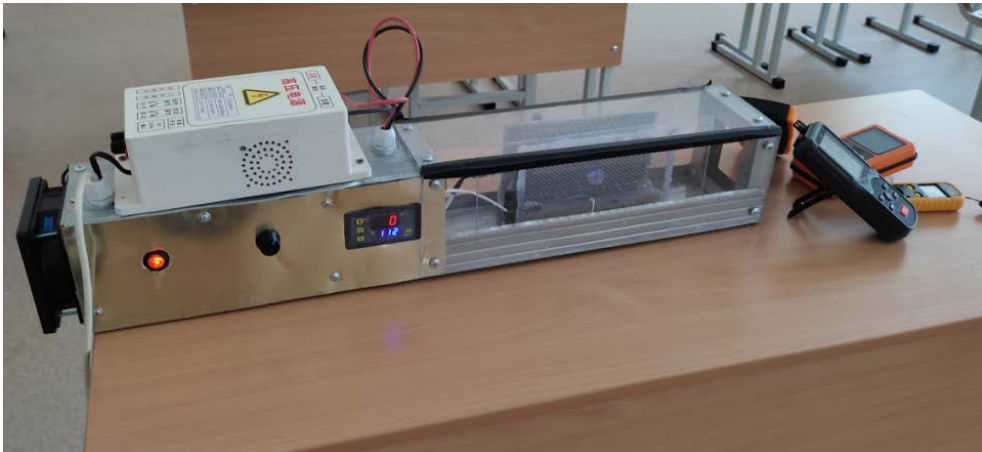


Рисунок 3.18 – Экспериментальный образец озонатора-излучателя

Для измерения и определения эффективных режимных параметров работы экспериментальной установки озонатора-излучателя с целью снижения патогенной микрофлоры в воздухе были использованы газоанализаторы Элан ОЗ, WELUOT DM509-ОЗ (рисунки 3.12 и 3.13). Отбор проб для выявления патогенной микрофлоры в воздушной среде осуществлялся с использованием чашек Петри с питательной средой (рисунок 3.19).

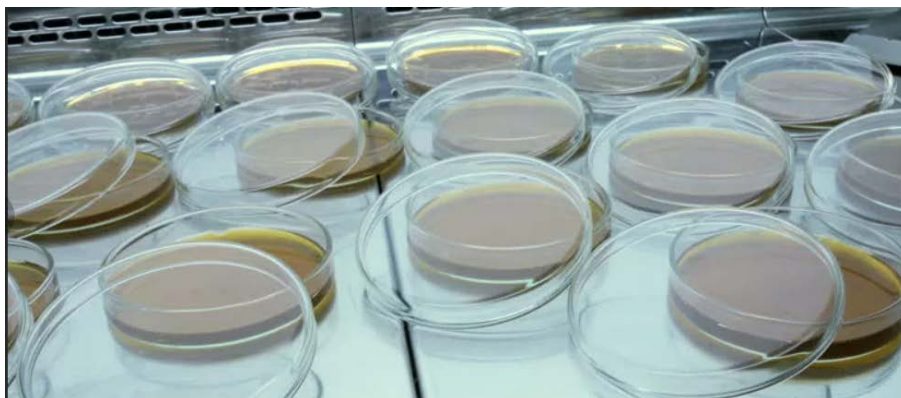


Рисунок 3.19 – Чашки Петри с питательной средой

Схема пятого опыта представлена в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Схема пятого опыта

Испытания	Концентрация озона, мг/м ³	Экспозиция, мин.
Контроль	–	–
Опыт	1	30
	5	
	10	

Шестой опыт – определение влияния концентрации газообразного озона на изменение показателей патогенной микрофлоры в комбикормах после обработки воздушной среды [124]. Опыт проведен с использованием экспериментального автономного модуля электроозонатора (рисунок 3.7) в ламинарном боксе. В контроле и опытах подсчёт колоний микроорганизмов проводился по 4 чашкам Петри. Контрольные пробы были с необработанным комбикормом, опытные – подвергались воздействию озона разной концентрации 1; 5 и 10 мг/м³ соответственно.

Ламинарный бокс с автономным модулем электроозонатора и образцами комбикорма представлены на рисунке 3.20.



Рисунок 3.20 – Ламинарный бокс с автономным модулем электроозонатора и образцами комбикорма

Схема шестого опыта представлена в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Схема шестого опыта

Испытания	Концентрация озона, мг/м ³ .	Экспозиция, мин
Контроль	–	–
Опыт	1	45
	5	
	10	

Седьмой опыт представляет собой исследования для подтверждения работоспособности и оптимизации параметров устройства, в ходе которого были проведены измерения показателей воздушной среды по газовому составу в животноводческом помещении. Замеры показателей осуществлялись в центре производственного помещения и по четырём контрольным точкам в углах помещения (площадью 360 м²). При концентрации 0,1 мг/м³ животные находились в помещении, при концентрациях 1, 5, 10 мг/м³, в целях безопасности, животные были выведены из помещения.

Подготовка к обработке воздуха озоном концентрацией 0,1 мг/м³ в животноводческом помещении представлена на рисунке 3.21.

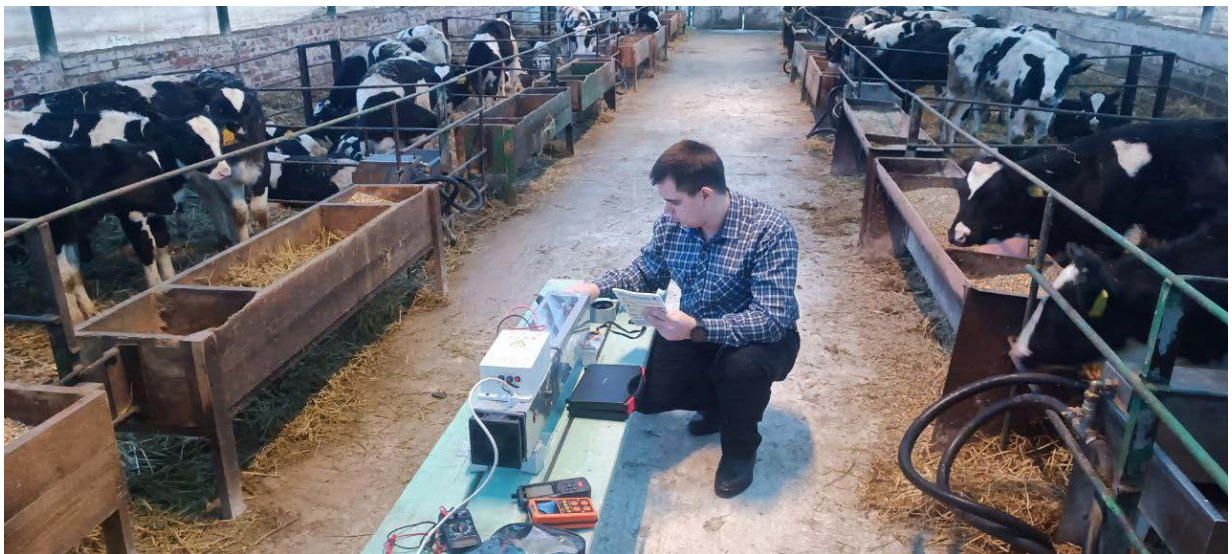


Рисунок 3.21 – Подготовка к обработке воздуха озоном концентрацией 0,1 мг/м³ в животноводческом помещении

Для измерения и определения эффективных режимных параметров работы экспериментальной установки озонатора-излучателя были использованы следующие измерительные приборы и средства: анализаторы озона (WELUOT DM509-O3; Элан O3); газоанализаторы (Smart Sensor ST8900 с воздушной помпой; JLDG JD-3002; Smart Sensor AR8500), внешний вид и основные технические характеристики которых представлены на рисунках 3.11, 3.12, 3.22-3.24.



Технические характеристики газоанализатора Smart Sensor ST8900:

Рабочая влажность.....15%...95%;

Рабочая температура.....10...50 °С;

Газ обнаружения:

- оксид углерода (CO);
- сероводород (H₂S);
- кислород (O₂),
- горючий газ (НПВ).

Разрешение:

- оксид углерода (CO): 1 ppm;
- сероводород (H₂S): 1 ppm;
- кислород (O₂): 0,1%;
- горючий газ (НПВ): 1% НПВ.

Время прогрева.....<20 с;

Диапазон измерения:

- оксид углерода (CO).....0...999 ppm;
- сероводород (H₂S).....0...500 ppm;
- кислород (O₂).....0...30%;
- горючий газ (НПВ).....0...100%;

Масса.....0,4 кг;

Габариты.....75×138×43 мм.

Рисунок 3.22 – Газоанализатора Smart Sensor ST8900



Технические характеристики газоанализатора LDG JD-3002:

Диапазон измерений:

- CO₂.....350...2000 ppm;
- TVOC.....0,000...2,000 мг/м³;
- HCHO.....0,000...1,000 мг/м³;
- Температуры.....0...90 °С;
- Масса.....0,22 кг;
- Габариты.....176×73×29 мм.

Рисунок 3.23 – Газоанализатор LDG JD-3002



Технические характеристики газоанализатора Smart Sensor AR8500:

- Тип газа.....аммиак (NH₃);
- Диапазон измерений.....0...100 ppm;
- Разрешение.....0,1 ppm;
- Основная ошибка.....0,5 ppm;
- Время отклика.....≤120 с.
- Принцип измерения.....электрохимический;
- Рабочая температура.....-20...50 °С;
- Рабочая влажность.....<95%;
- Масса.....0,2 кг;
- Габариты.....181×63×30 мм.

Рисунок 3.24 – Газоанализатор Smart Sensor AR8500

Схема седьмого опыта представлена в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Схема седьмого опыта

Испытания	Концентрация озона, мг/м ³ .	Экспозиция, ч
Контроль	–	–
Опыт	0,1	1,2
	1	1,2
	5	1,2
	10	1,2

3.5 Выводы по главе

На основе обзора научной литературы, патентного поиска и теоретических исследований для осуществления озонирования воздушной среды и проведения дальнейших экспериментальных исследований была разработана новая конструкция электрического озонатора-излучателя на коронном разряде, представляющая собой автономный модуль. Научная новизна разработанного устройства подтверждается патентами РФ на полезную модель № 204184; №205379 и на изобретение № 2787881. Для достижения более высокой эффективности разнопотенциальных электродов и повышения производительности устройства по генерации газообразного озона была разработана новая конструкция модуля излучателя в составе автономного электроозонатора. Конструктивно излучатель выполнен в виде двух керамических оснований, с закреплёнными на них вольфрамовыми электродами. Одно основание имеет вид сетки, имеющую сотовую форму ячейки, другое – иглы. Конструкция разработанного излучателя предусматривает регулировку воздушного зазора между штыревыми электродами и проводящей плоскостью, благодаря чему обеспечивается регулировка производительности излучателя по озону на одном источнике высокого напряжения и повышается эффективность работы озонатора, в целом.

На базе экспериментального образца озонатора-излучателя собран стенд, позволяющий измерить основные электрические показатели, определить их взаимосвязи с производительностью озонатора и его оптимальными режимами работы. Для их измерения были использованы такие измерительные средства, как: мультиметр (DT 9205A), киловольтметр (С197), 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).

Кроме того, представлена общая программа экспериментальных исследований, составлен перечень технических средств, необходимых для проведения эксперимента. Собрана экспериментальная конструкция рабочего макета озонатора и схема экспериментального стенда. Составлена целевая функция и установлены основные воздействующие факторы. Определены параметры, воздействующие на работу электрического озонатора воздуха и рассмотрены основные планы многофакторного эксперимента, а также методики расчёта коэффициентов регрессионных уравнений.

Глава 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИЮ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

4.1 Анализ результатов экспериментальных исследований по определению технических параметров электрического озонатора-излучателя воздуха

Экспериментальные исследования работы автономного модуля электрического озонатора проведены в соответствии с реализацией плана второго порядка Коно для двухфакторного эксперимента.

Первый опыт. Полученная по экспериментальным данным регрессионная модель влияния напряжения (x_1) в системе штыревой электрод-проводящая плоскость и разрядного промежутка (x_2) между остриём штыревого электрода и проводящей плоскостью на концентрацию озono-воздушной смеси (y) в кодированных переменных имеет следующий вид:

$$y = 1,9 + (-1,46)x_1 + 3,45x_2 + (-0,72)x_1 x_2 + (-0,24)x_1^2 + 2,1x_2^2 \quad (4.1)$$

Коэффициенты уравнения можно считать значимо-достоверными, так как адекватность регрессионной модели удовлетворяет проверочному F-критерию Фишера: $F_{рас} = 2,94 \leq F_{табл} = 2,96$.

Исходя из данных регрессионного уравнения (4.1), была построена расчётная поверхность изменения концентрации озона (мг/м^3) в зависимости от натуральных значений напряжения (В) на излучателе и расстояния разрядного промежутка (мм), которая представлена на рисунке 4.1.

Проведя анализ построенной поверхности, следует отметить, что концентрация озона возрастает с увеличением напряжения на электродах излучателя и уменьшением расстояния разрядного промежутка между остриём штыревого электрода и проводящей плоскостью, что согласуется с общими теоретическими положениям об образовании озона при коронном разряде. Также установлено, что для исследуемой конструкции электроозонатора наибольшие значения концентрации озона (до 10 мг/м^3) достигаются при напряжении 30 кВ и воздушном промежутке 25 мм. Увеличение напряжения и уменьшение

воздушного промежутка приводит к нарушению озонообразования с переходом в обыкновенный электрический разряд, что недопустимо.

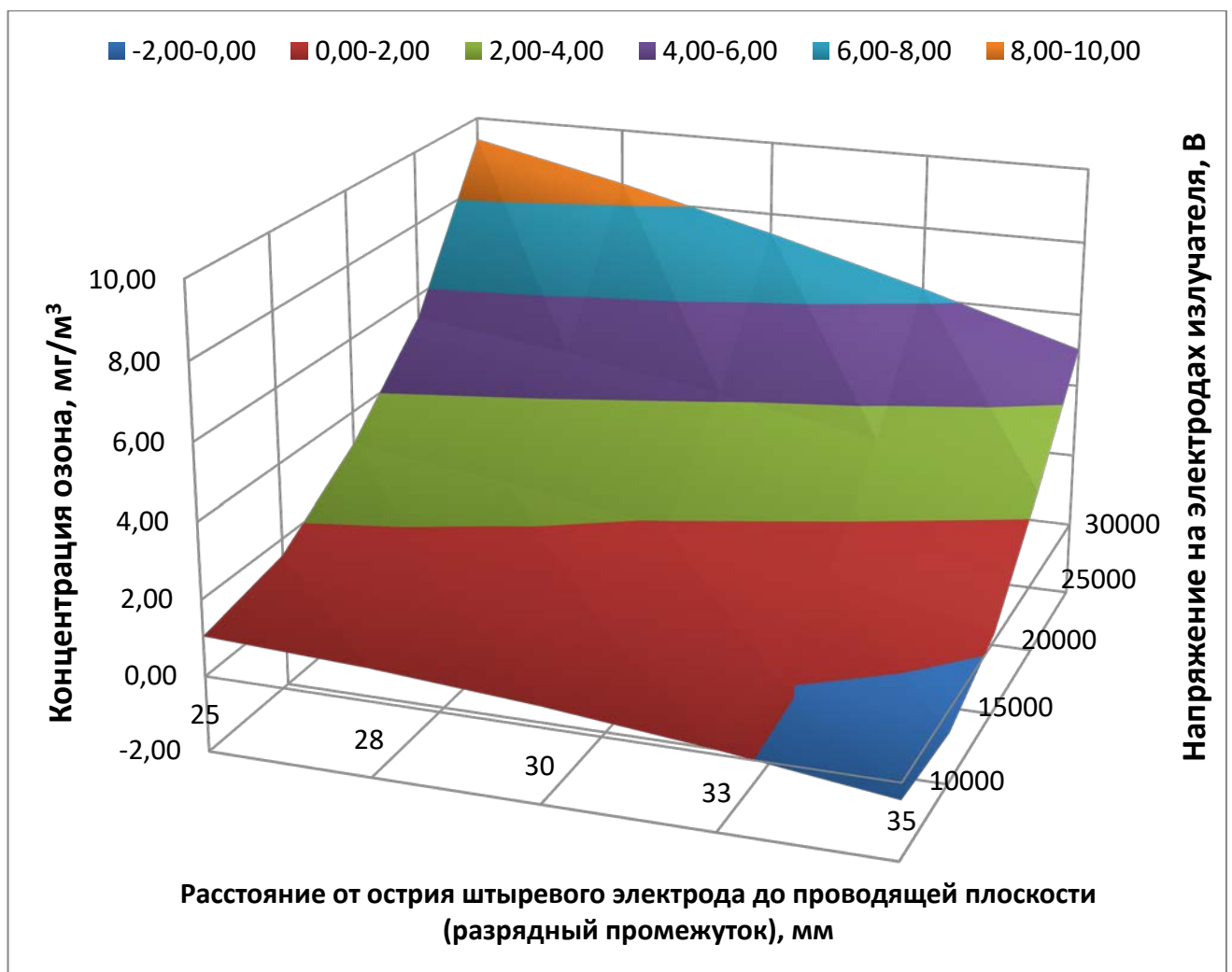


Рисунок 4.1 – Изменение концентрации озона в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и расстояния разрядного промежутка

Второй опыт. Эксперимент проведен при расстоянии от острия штыревого электрода до проводящей плоскости (разрядный промежуток) – 30 мм. Полученная по экспериментальным данным регрессионная модель влияния напряжения (x_1) в системе штыревой электрод-проводящая плоскость и продолжительности работы автономного модуля электроозонатора (x_2) на температуру штыревых электродов (y) в кодированных переменных имеет следующий вид:

$$y=30,18+1,16x_1+3,77x_2+0,66x_1 x_2+(-0,33)x_1^2+(-0,38)x_2^2 \quad (4.2)$$

Коэффициенты уравнения можно считать значимо-достоверными, так как адекватность регрессионной модели удовлетворяет проверочному F-критерию Фишера: $F_{рас}=2,57 \leq F_{табл}=2,96$.

Исходя из данных регрессионного уравнения (4.2), была построена расчётная поверхность изменения температуры штывевых электродов ($^{\circ}\text{C}$) в зависимости от натуральных значений напряжения (В) на излучателе и продолжительности работы озонаторного устройства (мин.), представленная на рисунке 4.2.

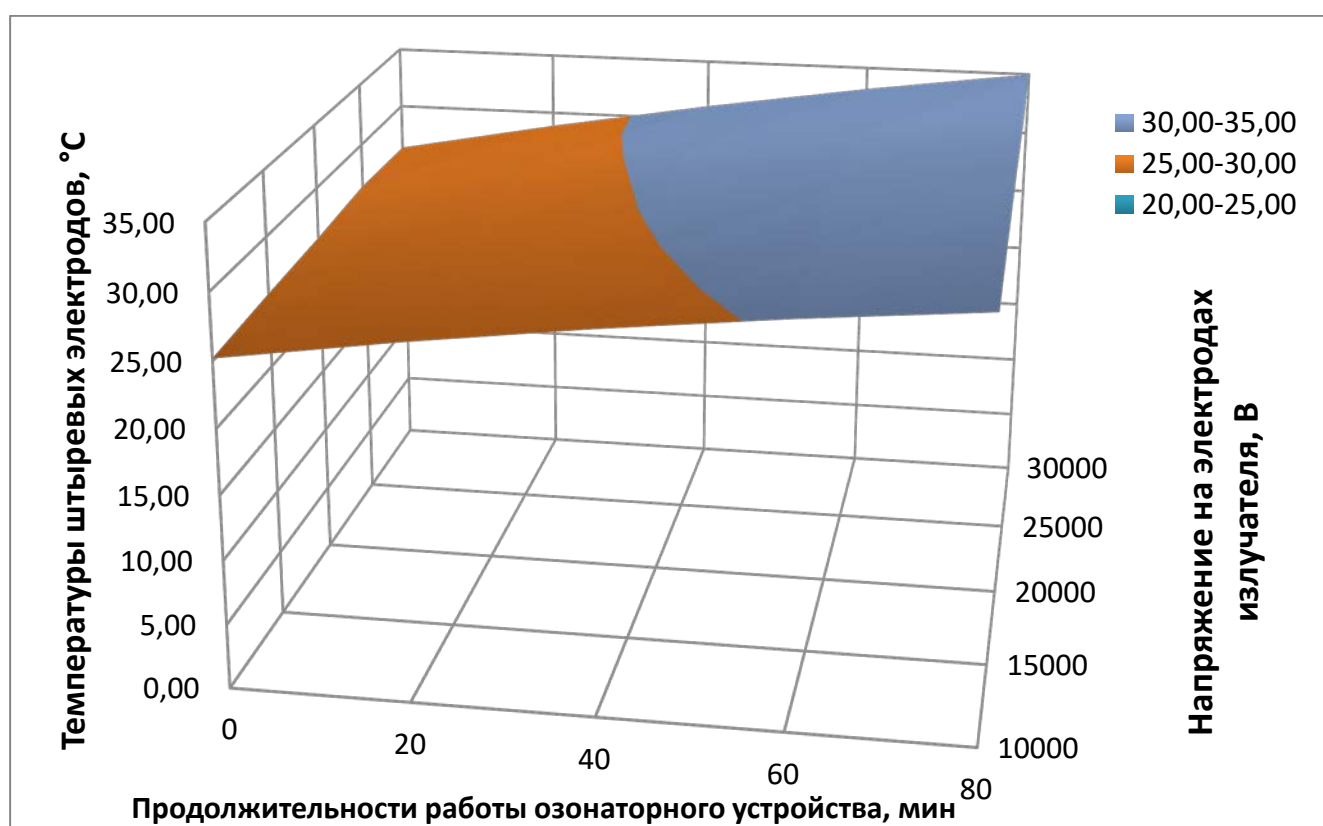


Рисунок 4.2 – Изменение температуры излучателя в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и продолжительности работы автономного модуля электроозонатора

Согласно приведенной поверхности следует отметить, что температура электродов на излучателе возрастает с увеличением напряжения и увеличением времени работы автономного модуля электроозонатора. Для стабильной работы устройства необходимо поддерживать температуру электродов до $+30^{\circ}\text{C}$. Соблюдение этого условия возможно при управлении либо напряжением на

излучателе, либо продолжительностью работы озонатора. Поэтому процесс образования озона рекомендовано совмещать с принудительной подачей воздуха для обеспечения необходимого температурного режима на электродах и одновременной подачи озono-воздушной смеси в помещение.

Третий опыт. Эксперимент проведен при расстоянии от острия штыревого электрода до проводящей плоскости (разрядный промежуток) – 30 мм.

Полученная по экспериментальным данным регрессионная модель влияния напряжения (x_1) в системе «штыревой электрод-проводящая плоскость» и продолжительности работы автономного модуля электроозонатора (x_2) на концентрацию озона (y) в кодированных переменных имеет следующий вид:

$$y=3,85+(-0,76)x_1+2,18x_2+(-0,21)x_1 x_2+0,45x_1^2+(-0,26)x_2^2 \quad (4.3)$$

Коэффициенты уравнения можно считать значимо-достоверными, так как адекватность регрессионной модели удовлетворяет проверочному F-критерию Фишера: $F_{рас}=2,03 \leq F_{табл}=2,96$.

Исходя из данных регрессионного уравнения (4.3), была построена расчётная поверхность изменения концентрации озона (мг/м^3) в зависимости от натуральных значений напряжения (В) на излучателе и продолжительности работы озонаторного устройства (мин.), представленная на рисунке 4.3.

Исходя из рисунка 4.3. следует, что концентрация озона, генерируемая устройством, постепенно снижается с увеличением продолжительности работы при конкретно заданном напряжении. Но стоит отметить, что примерно через 60 минут производительность озонаторного устройства становится практически неизменной.

Проанализировав расчётные поверхности на рисунках 4.2 и 4.3, можно отметить, что в диапазоне времени 60...80 минут озонаторные установки приходят к установившемуся режиму работы. Это связано с нагревом штыревых электродов, а также началом распада озона.

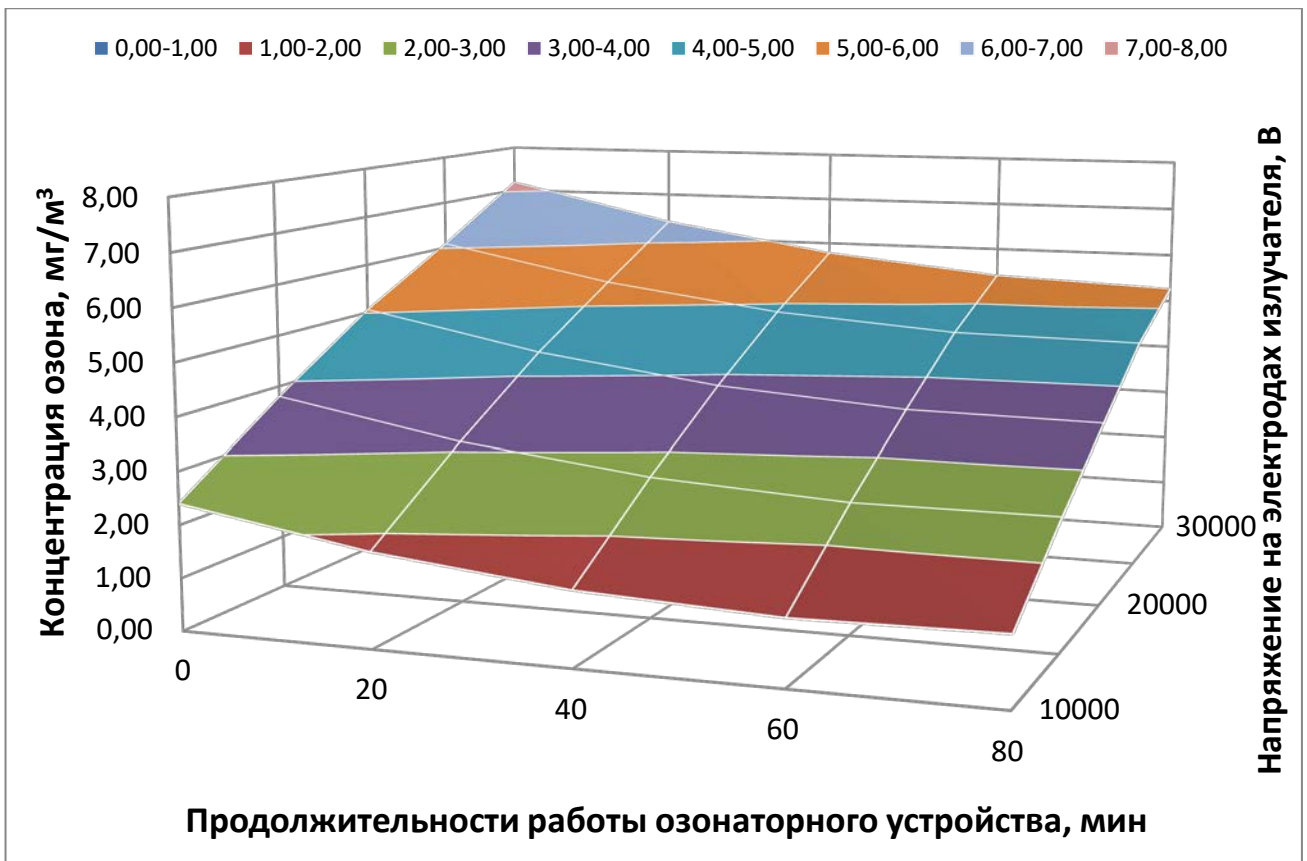


Рисунок 4.3 – Изменение концентрации озона в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и продолжительности работы автономного модуля электроозонатора

Четвёртый опыт. 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) было принято решение поставить трёхфакторный эксперимент.

По экспериментальным данным были получены регрессионные модели влияния:

– разрядного промежутка и напряжения на температуру электродов:

$$z = -19,668 + 0,898x - 0,0146x^2 + 2,451y - 0,045y^2 + 6,846 \quad (4.4)$$

– продолжительности работы и напряжения на температуру электродов:

$$z = -19668 + 0,898x - 0,015x^2 + 0,111y - 0,0003y^2 + 30,381 \quad (4.5)$$

– разрядного промежутка и напряжения на концентрацию озона:

$$z = -15,484 + 0,295x + 0,003x^2 + 1,124y - 0,025y^2 - 1,415 \quad (4.6)$$

– продолжительности работы и напряжения на концентрацию озона:

$$z = -15,484 + 0,295x + 0,003x^2 - 0,022y + 0,00006y^2 + 8,54 \quad (4.7)$$

Исходя из данных регрессионных уравнений (4.4)-(4.7), были построены расчётные поверхности изменения концентрации озона (мг/м^3) и температуры электродов ($^{\circ}\text{C}$) в зависимости от натуральных значений воздействующих факторов, которые представлены на рисунках 4.4–4.7.

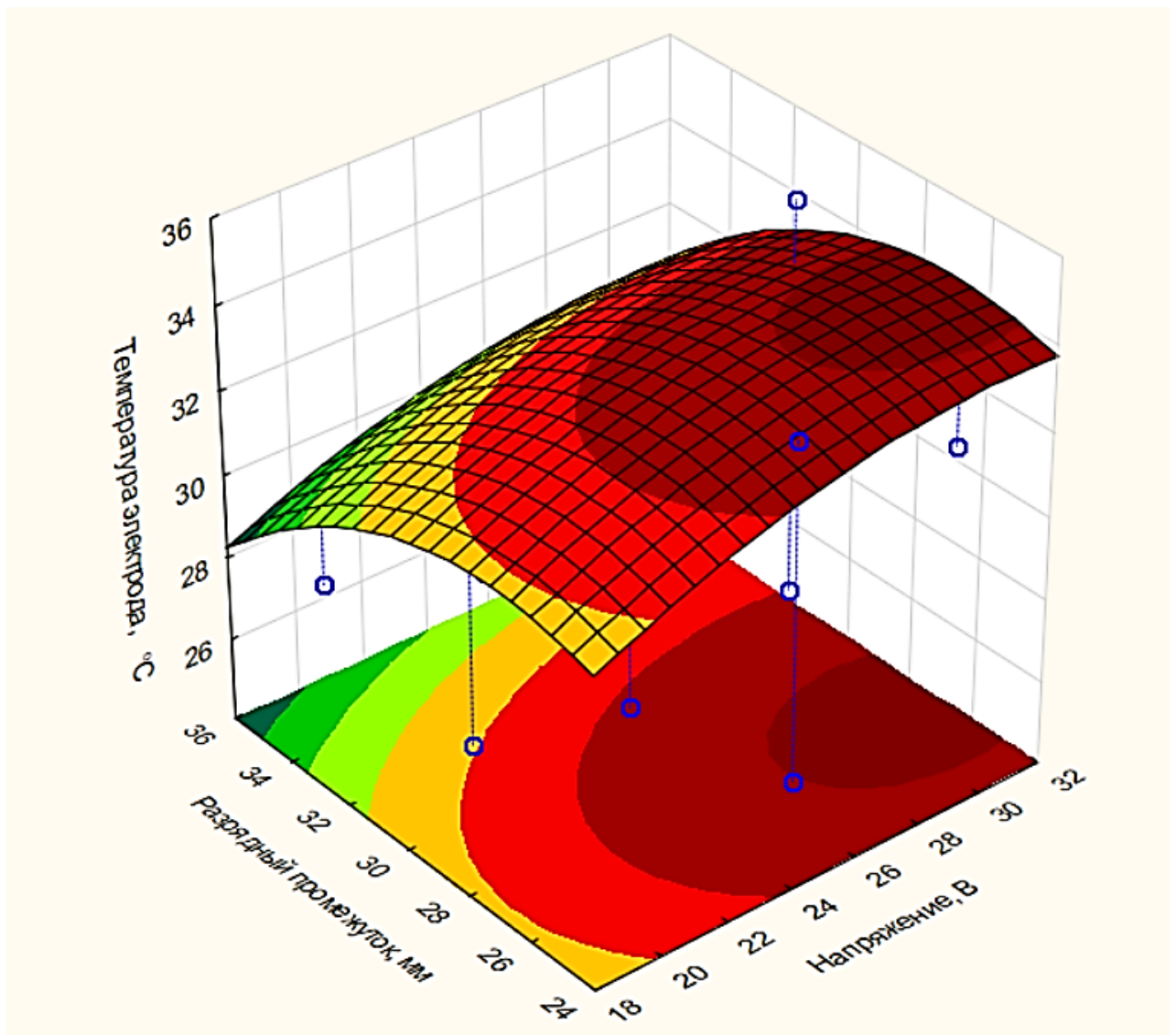


Рисунок 4.4 – Изменение температуры электродов от натуральных значений напряжения на излучателе и разрядного промежутка

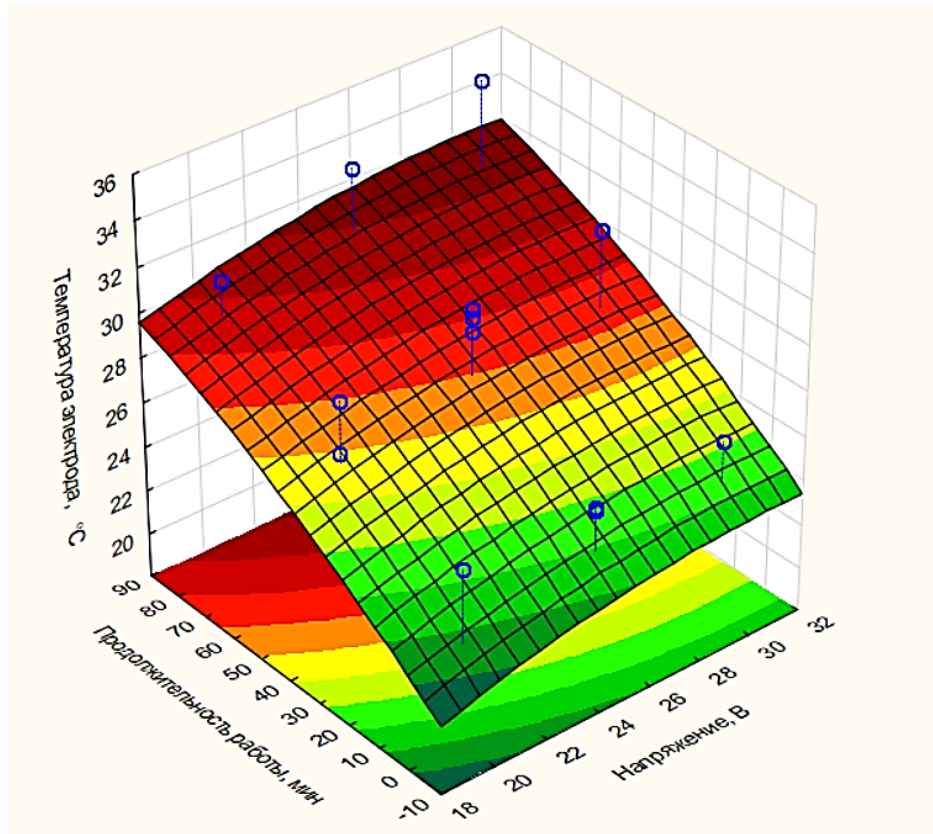


Рисунок 4.5 – Изменение температуры электродов от натуральных значений напряжения на излучателе и продолжительности работы устройства

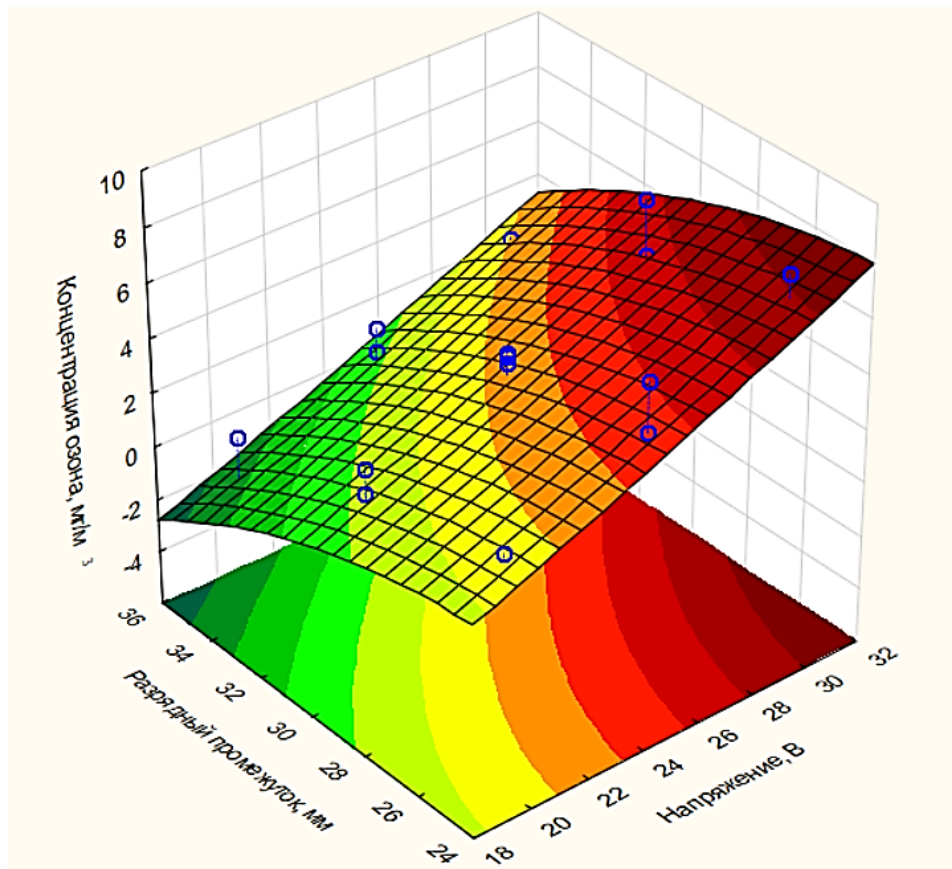


Рисунок 4.6 – Изменение концентрации озона от натуральных значений напряжения на излучателе и разрядного промежутка

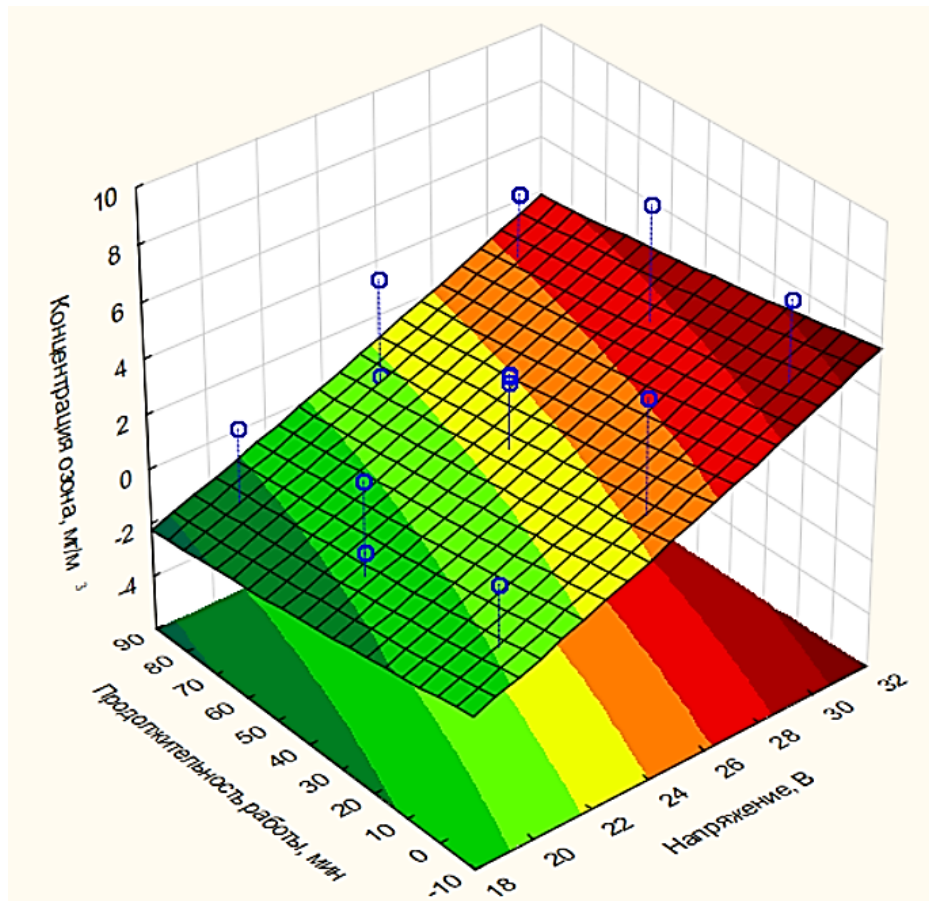


Рисунок 4.7 –Изменение концентрации озона от натуральных значений напряжения на излучателе и продолжительности работы устройства

Проанализировав полученные расчётные поверхности, можно сделать вывод, 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.

Исходя из полученных экспериментальных данных, можно сделать вывод о том, что для исследуемой конструкции эффективными являются следующие параметры:

- концентрация озона 10 мг/м^3 : напряжение 30 кВ и воздушный промежуток между потенциальным электродом и проводящей плоскостью 25 мм при скорости движения воздуха создаваемой вентилятором 0,3 м/с;
- концентрация озона 5 мг/м^3 : напряжение 20 кВ и воздушном промежутке между потенциальным электродом и проводящей плоскостью 25 мм при скорости движения воздуха создаваемой вентилятором 0,3 м/с;

– концентрация озона 1 мг/м^3 : напряжение 10 кВ и воздушном промежутке между потенциальным электродом и проводящей плоскостью 25 мм при скорости движения воздуха создаваемой вентилятором 0,3 м/с;

– концентрация озона $0,1 \text{ мг/м}^3$: напряжение 10 кВ и воздушном промежутке между потенциальным электродом и проводящей плоскостью 30 мм при скорости движения воздуха создаваемой вентилятором 0,3 м/с.

Для обеспечения стабильной и эффективной работы устройства необходимо поддерживать температуру разнопотенциальных электродов на излучателе до $+30 \text{ }^\circ\text{C}$. Также стоит подчеркнуть, что примерно через 60 минут производительность озонаторного устройства снижается в среднем на 22...25%, что связано с нагревом штыревых электродов и началом распада озона, и после чего переходит в установившийся режим.

Количественные соотношения разных показателей в порядке их убывания по частоте (диаграмма Парето) представлена на рисунках 4.8 и 4.9.

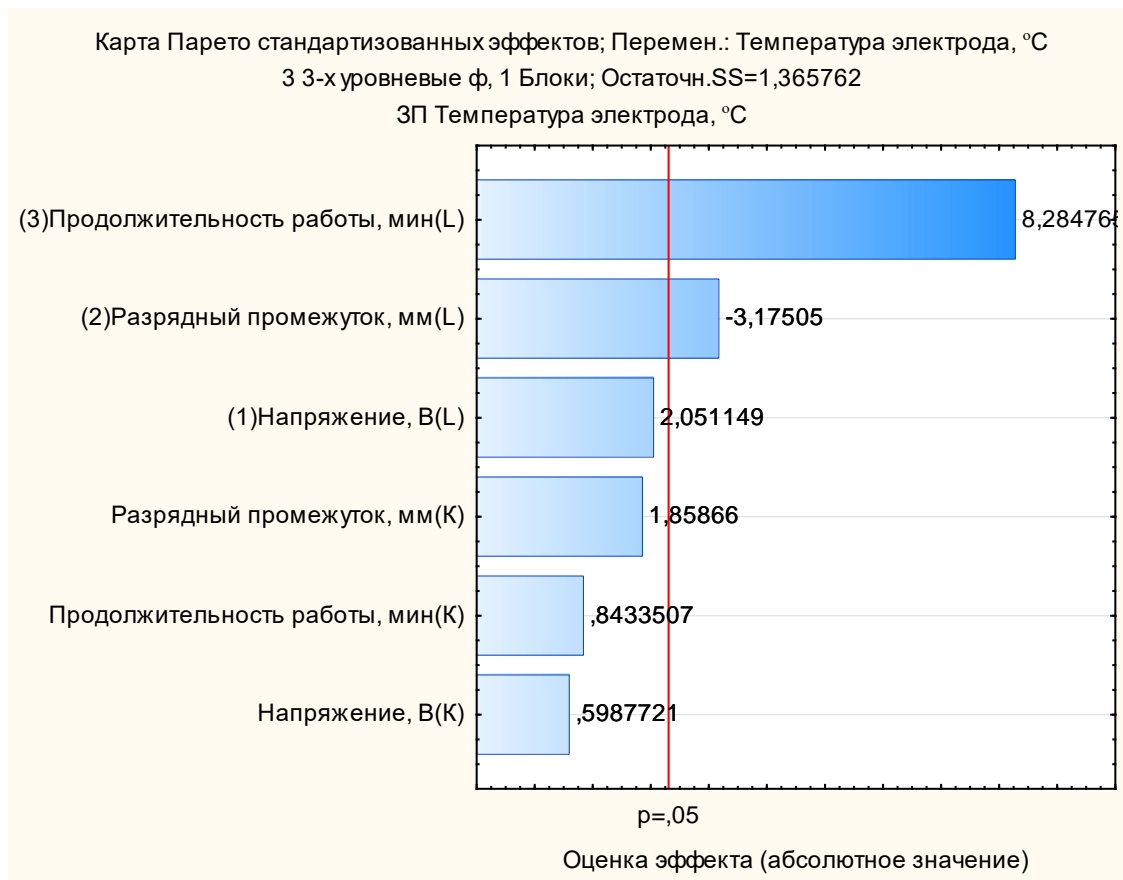


Рисунок 4.8 – Количественные соотношения показателей в порядке их убывания по частоте для температуры электродов

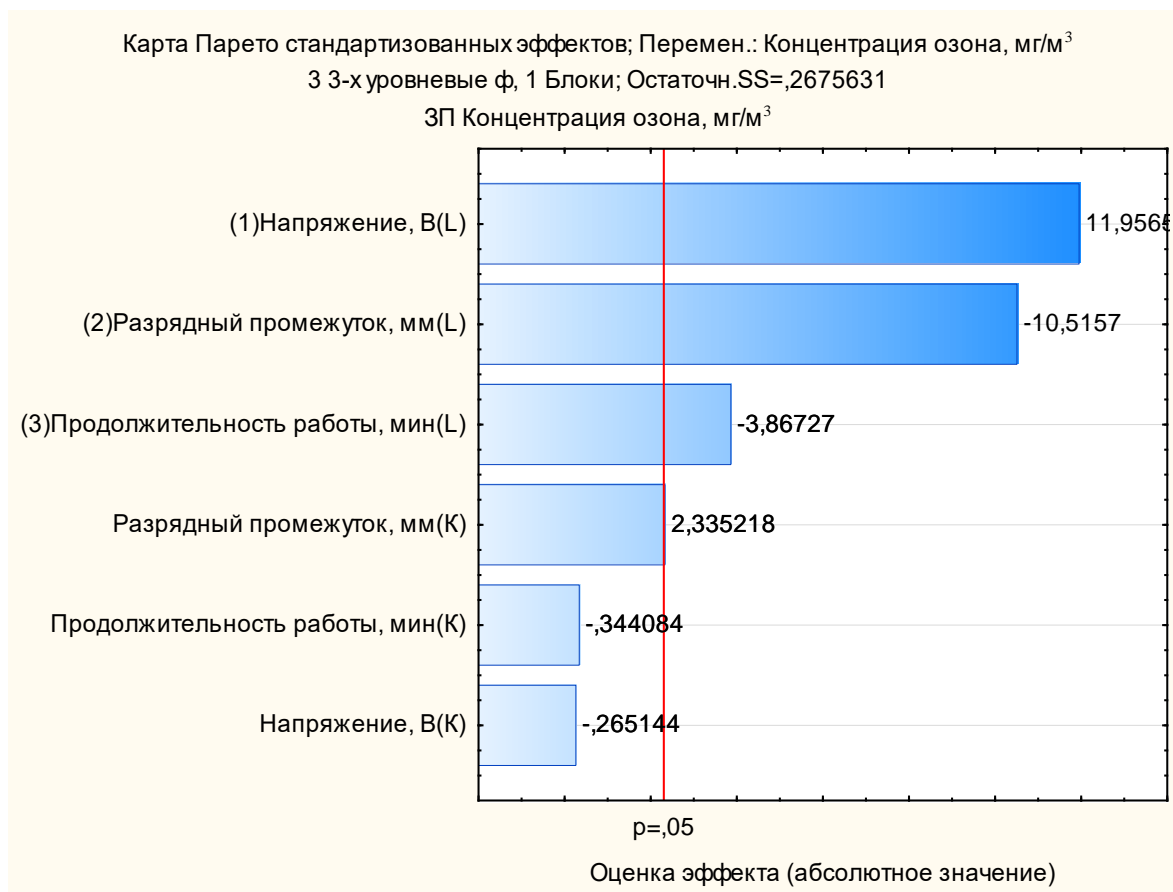


Рисунок 4.9 – Количественные соотношения показателей в порядке их убывания по частоте для концентрации озона

4.2 Анализ результатов экспериментальных исследований процесса озонирования помещения с применением электрического озонатора-излучателя воздуха

Пятый опыт. Для подтверждения работоспособности и оптимизации параметров устройства были проведены экспериментальные исследования по измерению показателей воздушной среды в помещении. Произведен отбор проб воздушной среды в помещении до озонирования (контроль) и после обработки озоном концентрациями 1; 5 и 10 мг/м³ разработанным экспериментальным электроозонатором.

Результаты микробиологических показателей воздушной среды помещения представлены в таблице 4.1 и на рисунках 4.10-4.12.

Таблица 4.1 – Результаты экспериментальных исследований по изменению патогенной микрофлоры в воздушной среде помещения до и после озонирования

Наименование	Вид	Размерность	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X _{ср}	H _{ср}	Степень достоверности
Опыт 1 (концентрация озона 1 мг/м ³)	ОМЧ	КОЕ/м ³	368	404	383	437	398	14,95	398,00±14,95*
	Патогенный стафилококк		76	59	70	79	71	4,42	71,00±4,42
	Плесень		>20	>20	>20	>20	–	–	–
Опыт 2 (концентрация озона 5 мг/м ³)	ОМЧ	КОЕ/м ³	313	385	329	333	340	15,61	340,00±15,61**
	Патогенный стафилококк		19	8	27	38	23	6,34	23,00±6,34**
	Плесень		> 10	> 10	> 10	>10	–	–	–
Опыт 3 (концентрация озона 10 мг/м ³)	ОМЧ	КОЕ/м ³	160	208	198	186	188	10,36	188,00±10,36***
	Патогенный стафилококк		15	5	18	38	19	6,92	19,00±6,92**
	Плесень		> 10	>10	> 10	> 10	–	–	–
Контроль	ОМЧ	КОЕ/м ³	428	476	424	500	457	18,57	457±18,6
	Патогенный стафилококк		84	63	72	97	79	7,38	79,00±7,38
	Плесень		> 20	> 20	> 20	> 20	–	–	–

Примечание: разница достоверна по отношению к контролю: * – p<0,05; ** – p<0,01, *** – p<0,001

Образцы проб патогенной микрофлоры в воздушной среде помещения до и после озонирования представлены на рисунке 4.10.

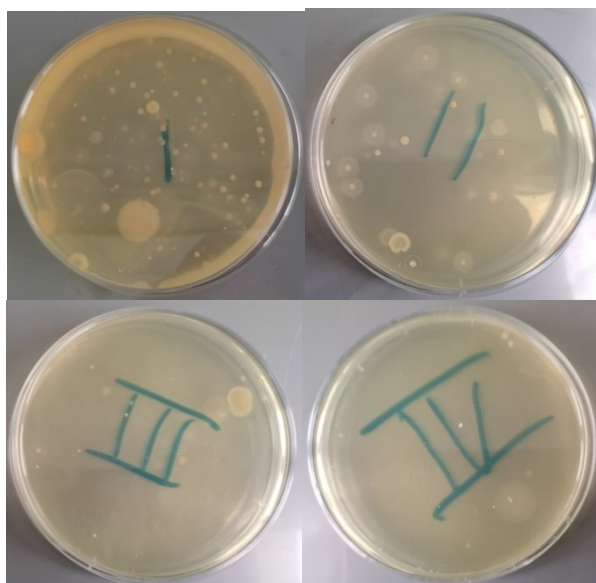


Рисунок 4.10 – Образцы проб патогенной микрофлоры в воздушной среде помещения до и после озонирования

I – контроль (до озонирования); II – концентрация озона – 1 мг/м³;
III – концентрация озона – 5 мг/м³; IV – концентрация озона – 10 мг/м³

Результаты экспериментальных исследований по изменению общего микробного числа и патогенного стафилококка в воздухе помещения представлены на рисунках 4.11 и 4.12.

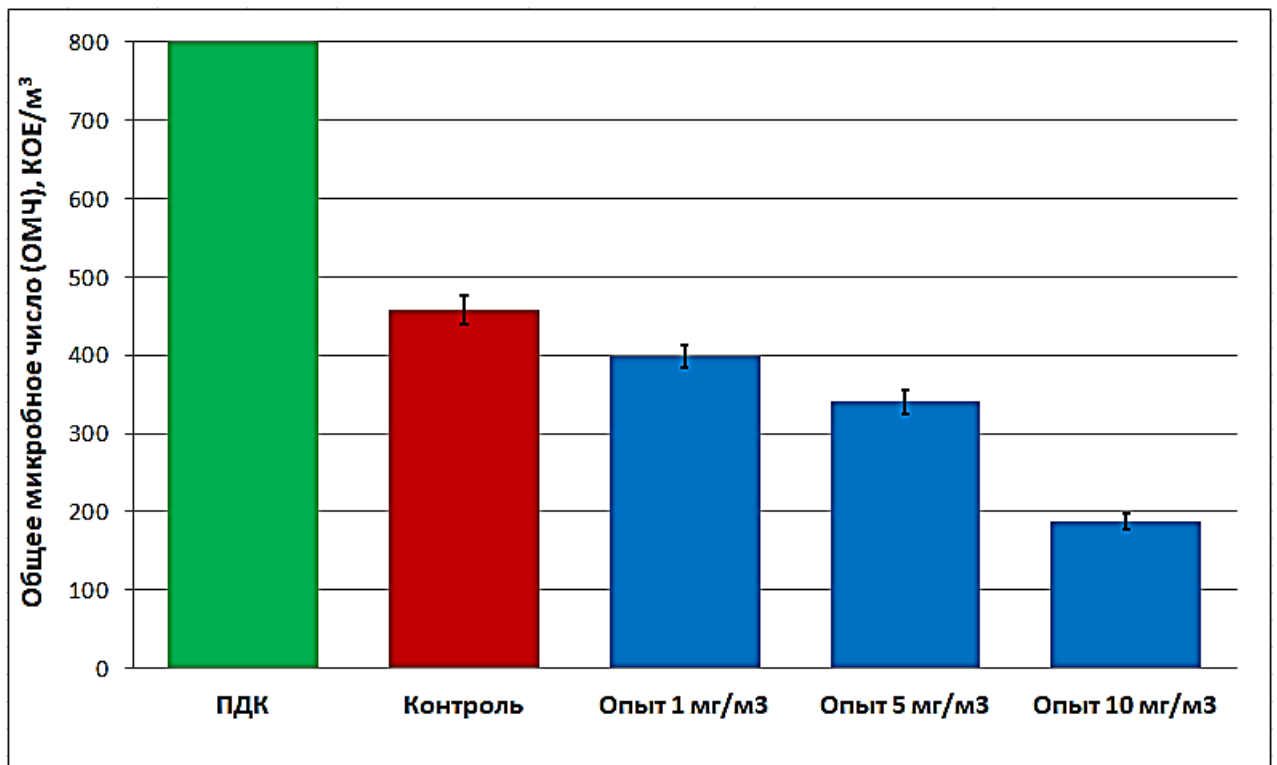
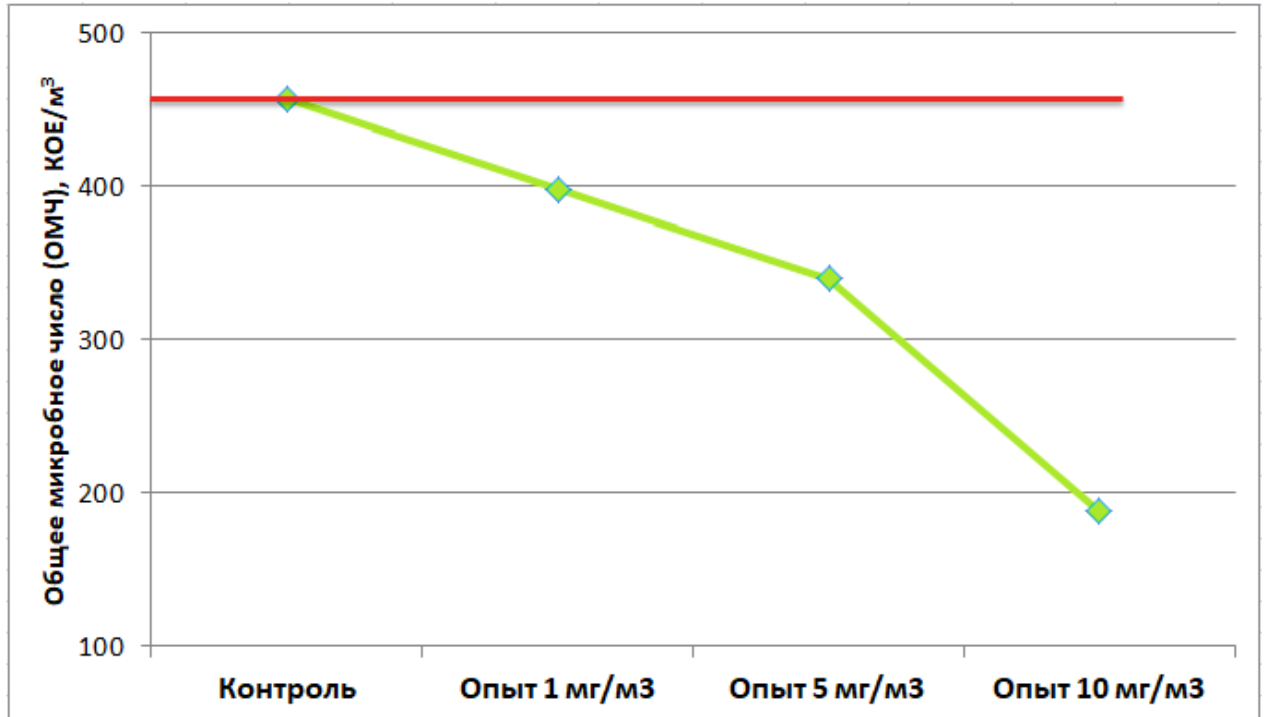


Рисунок 4.11 – Изменение ОМЧ в воздушной среде помещения при разных концентрациях озono-воздушной смеси

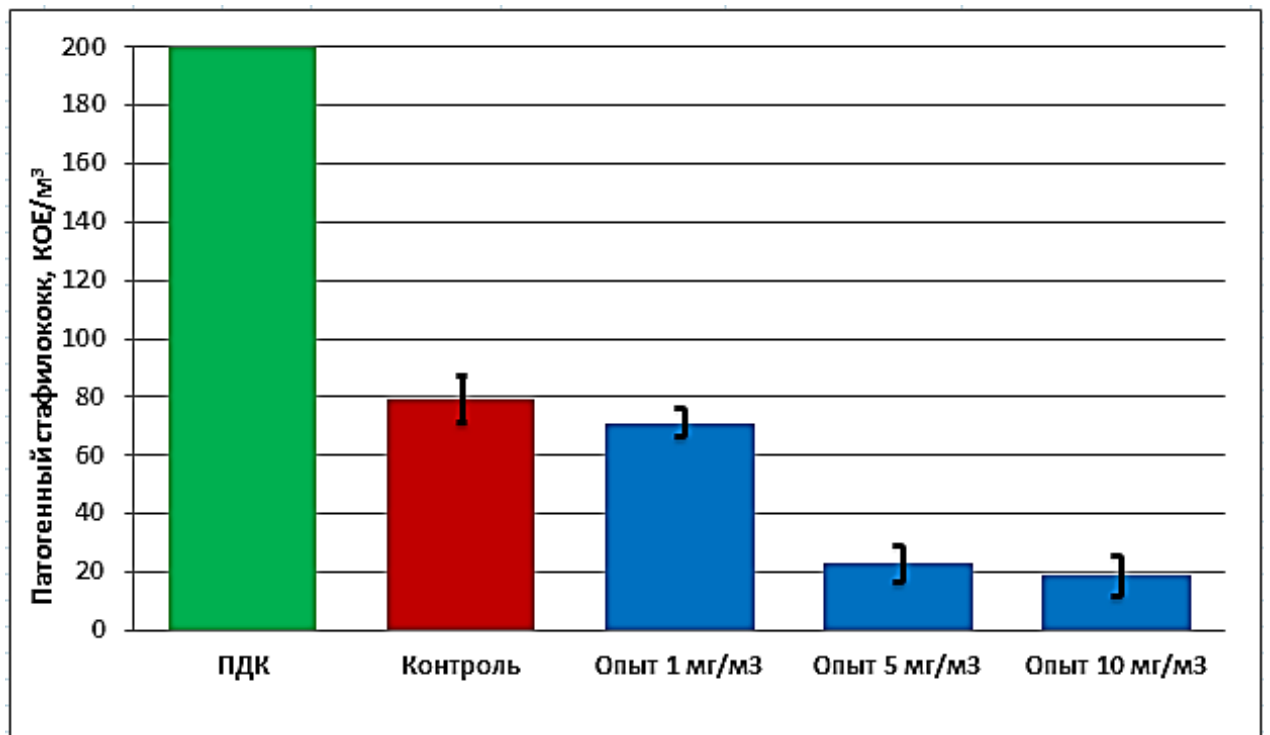
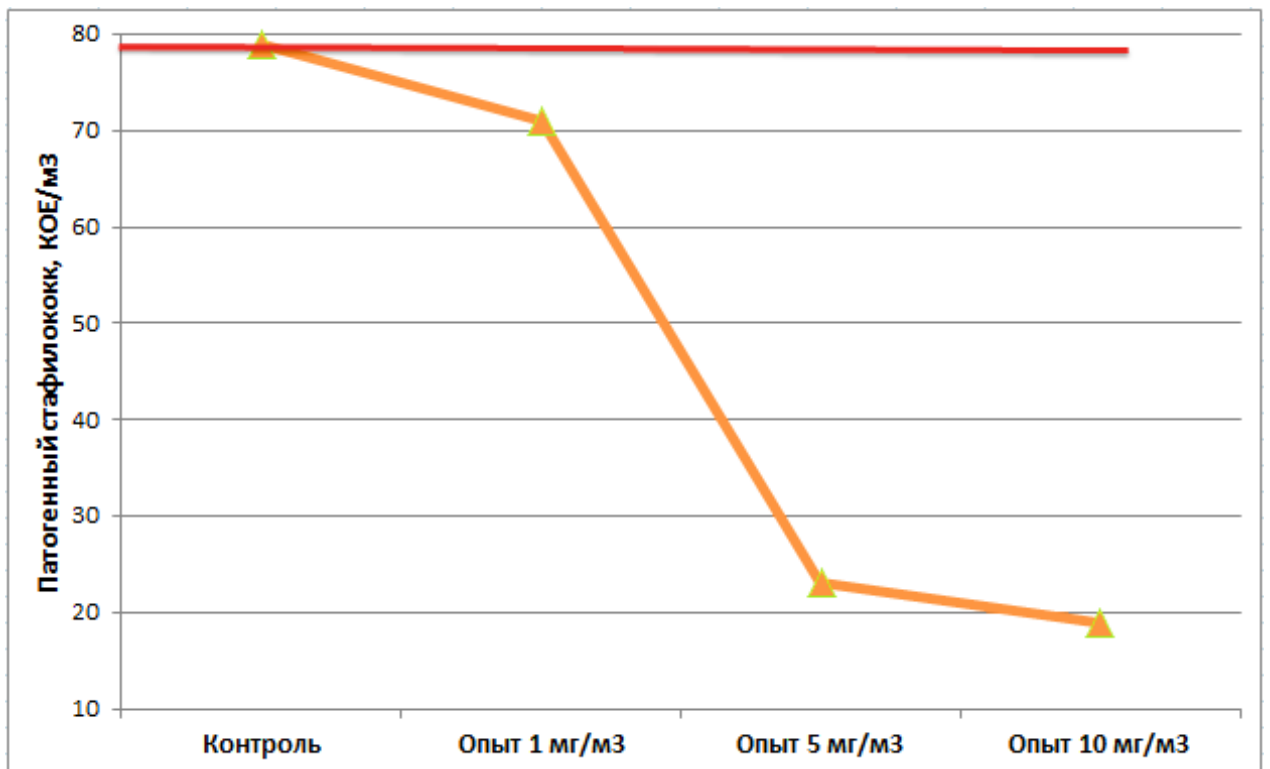


Рисунок 4.12 – Изменение патогенного стафилококка в воздушной среде помещения при разных концентрациях озono-воздушной смеси

На основе полученных результатов эксперимента, представленных в таблице 4.1 и на рисунках 4.11 и 4.12 установлено, что озонирование воздушной среды способствует угнетению патогенной микрофлоры. Отмечено, что при концентрациях озono-воздушной смеси в 1 мг/м^3 , 5 мг/м^3 и 10 мг/м^3 , 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:

$$y = -23,25x^2 + 29,75x + 445,75, \quad (4.8)$$

$$y = 152,71e^{-0,54x}, \quad (4.9)$$

где x – концентрация газообразного озона, мг/м^3 .

Шестой опыт. Проведены экспериментальные исследования измерения показателей детоксикации по общему микробному числу комбикормов растительного происхождения в ламинарном боксе при обработке воздушной среды озono-воздушной смесью концентрациями 1; 5 и 10 мг/м^3 .

Результаты экспериментальных исследований по изменению общего микробного числа в комбикормах растительного происхождения представлены в таблице 4.2 и на рисунке 4.13.

Из таблицы 4.2 и рисунка 4.13 видно, что при осуществлении санитарной обработки озонem воздушной среды животноводческого помещения будет также происходить детоксикация сыпучих комбикормов в кормушках животных. Отмечено, снижение на уровне тенденции общего микробного числа в образцах комбикормов растительного происхождения при концентрации озона 1 мг/м^3 на

2,1% ($p>0,05$), достоверное – при концентрации озона 5 мг/м^3 и 10 мг/м^3 на 8,0% ($p<0,05$) и 12,2% ($p<0,01$) соответственно.

Таблица 4.2 – Результаты экспериментальных исследований по изменению патогенной микрофлоры в сыпучих кормах растительного происхождения до и после процедуры озонирования

Наименование	Вид	Размерность	X_1	X_2	X_3	X_4	$X_{\text{ср}}$	$H_{\text{ср}}$	Степень достоверности
Опыт 1 (концентрация озона 1 мг/м^3)	ОМЧ	КОЕ/г	183	188	189	176	184	2,97	$184 \pm 2,97$
Опыт 2 (концентрация озона 5 мг/м^3)			176	179	169	168	173	2,68	$173 \pm 2,68^*$
Опыт 3 (концентрация озона 10 мг/м^3)			169	170	161	160	165	2,61	$165 \pm 2,61^{**}$
Контроль			185	193	194	180	188	3,34	$188 \pm 3,34$

Примечание: разница достоверна по отношению к контролю: * – $p<0,05$; ** – $p<0,01$, *** – $p<0,001$

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что при осуществлении санитарной обработки воздушной среды при увеличении концентрации озона в производственном помещении происходит снижение общего микробного числа, как в воздухе, так и на объектах, размещенных в этом помещении (детоксикация комбикормов в кормушках животных).

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

$$y = -1x^2 - 3x + 192,5, \quad (4.10)$$

где x – концентрация газообразного озона, мг/м^3 .

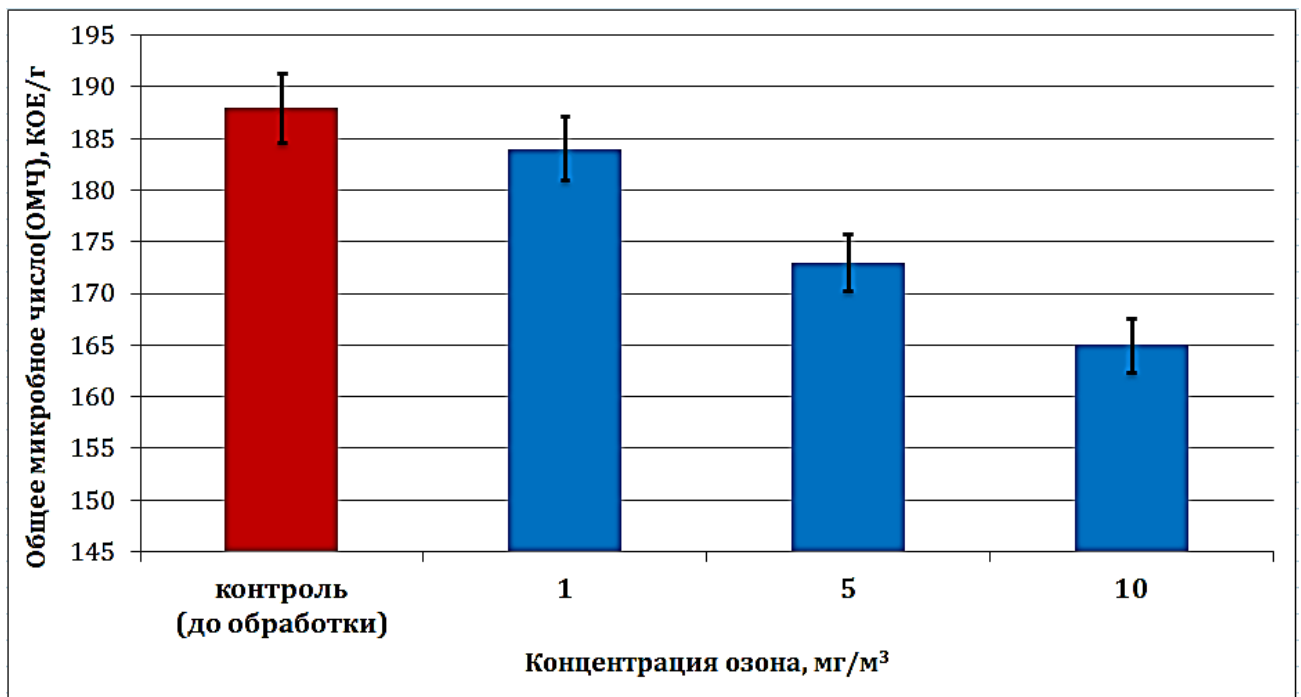
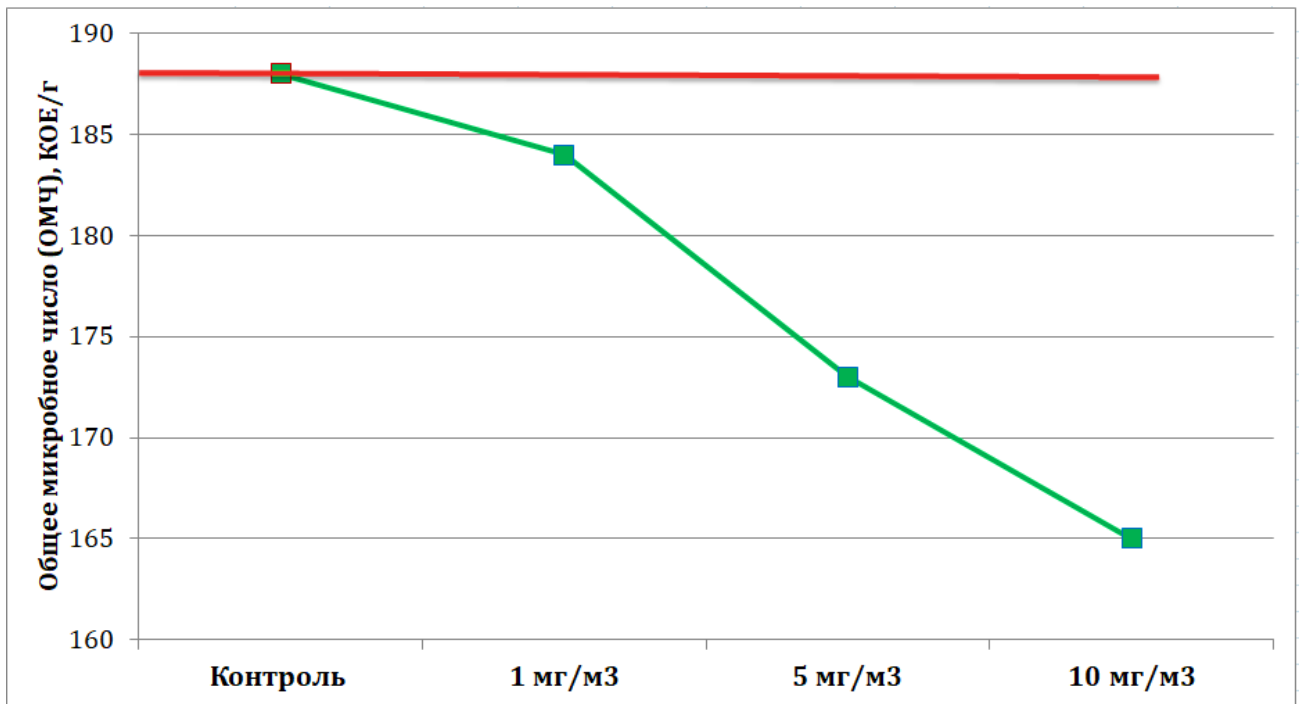


Рисунок 4.13 – Изменение общего микробного числа в комбикормах при разных концентрациях озono-воздушной смеси

4.3 Анализ результатов экспериментальных исследований процесса озонирования животноводческого помещения с применением электрического озонатора-излучателя воздуха

Седьмой опыт. Для подтверждения работоспособности и оптимизации параметров устройства были проведены исследования по озонированию животноводческого помещения (площадью 360 м²) с помощью экспериментального образца озонатора. Замеры показателей воздушной среды (по газовому составу) в животноводческом помещении представлены на рисунке 4.14.



Рисунок 4.14 – Замеры показателей воздушной среды (по газовому составу) в животноводческом помещении

Средние значения показателей воздушной среды по газовому составу в производственном помещении до и после электроозонирования в ходе эксперимента представлены в таблице 4.3 и рисунках 4.15 и 4.16.

Таблица 4.3 – Средние значения показателей воздушной среды по газовому составу в производственном помещении до и после электроозонирования

Показатели воздушной среды	Контроль	После обработки				ПДК	Экспозиция, ч
		0,1 мг/м ³	1 мг/м ³	5 мг/м ³	10 мг/м ³		
Сероводород, мг/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, мг/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	

Примечание: разница достоверна по отношению к контролю: * – p<0,05; ** – p<0,01, *** – p<0,001

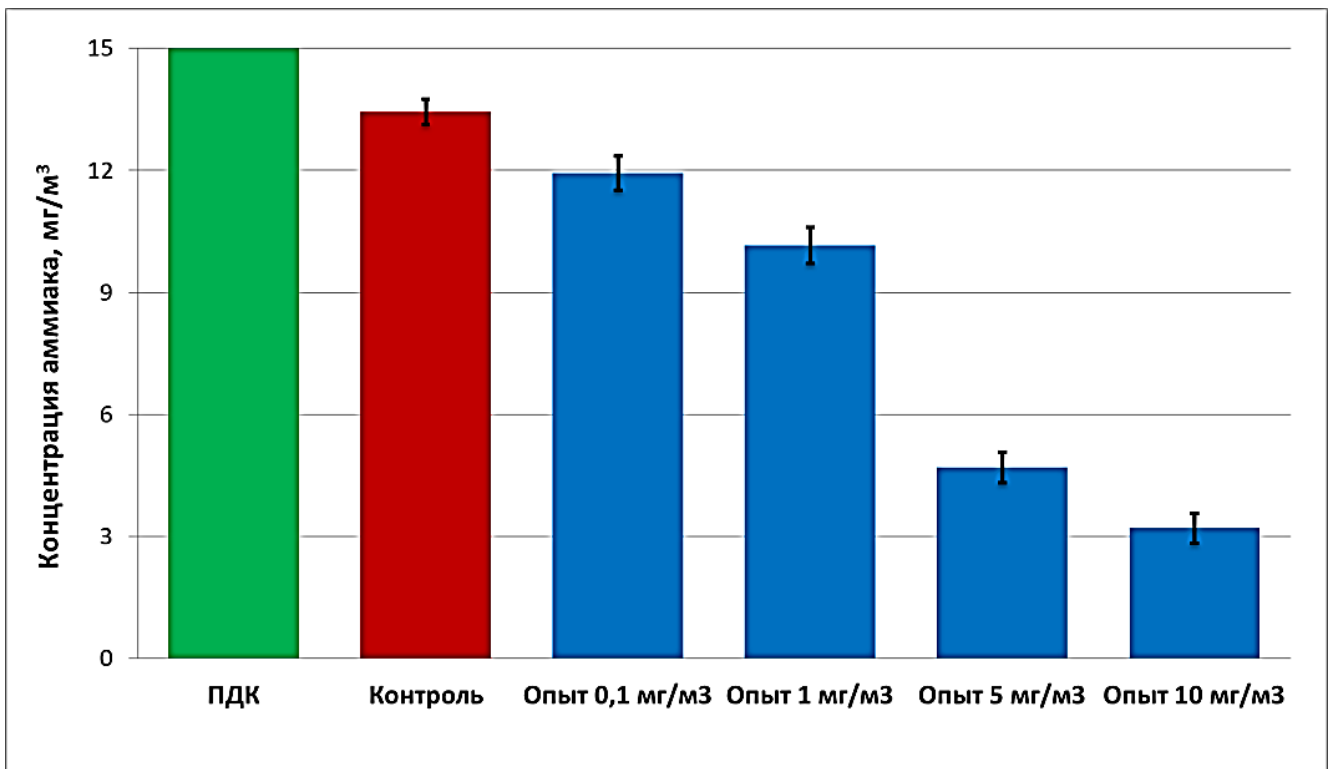


Рисунок 4.15 – Изменения концентрации аммиака в воздушной среде животноводческого помещения при разных концентрациях озono-воздушной смеси

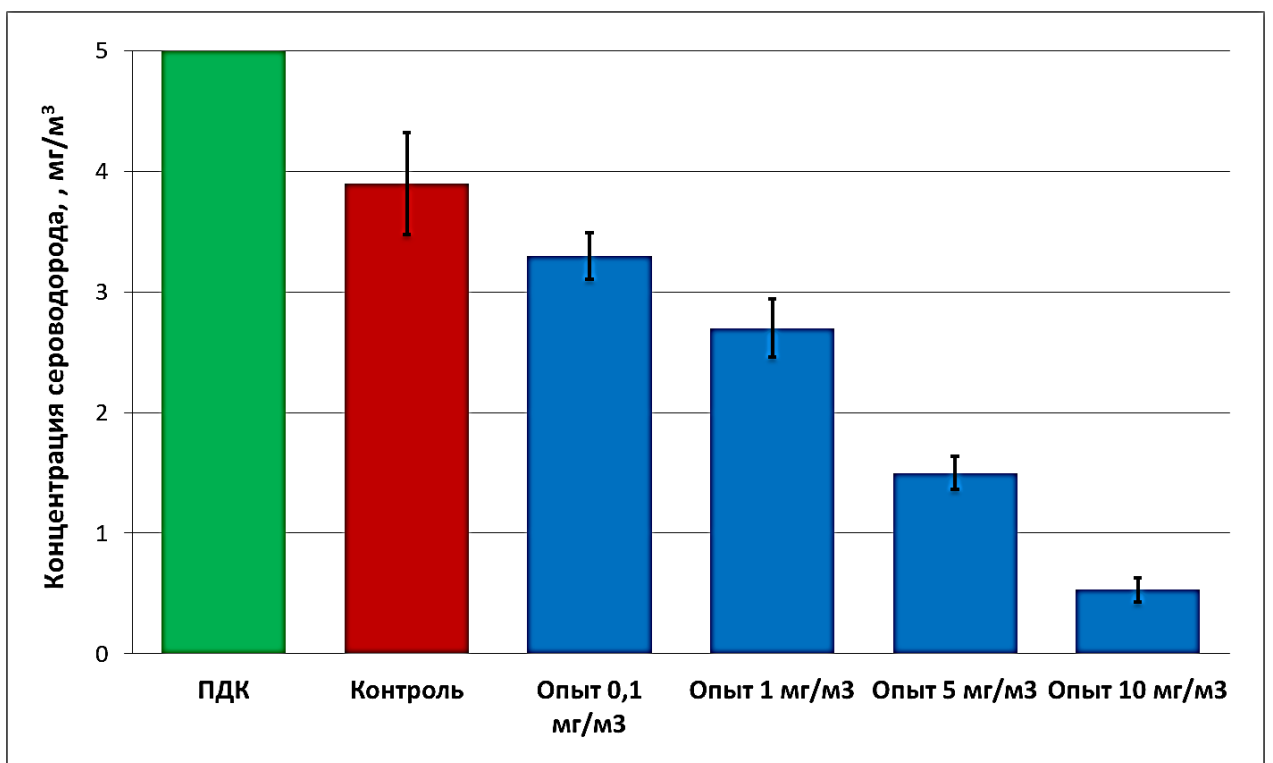
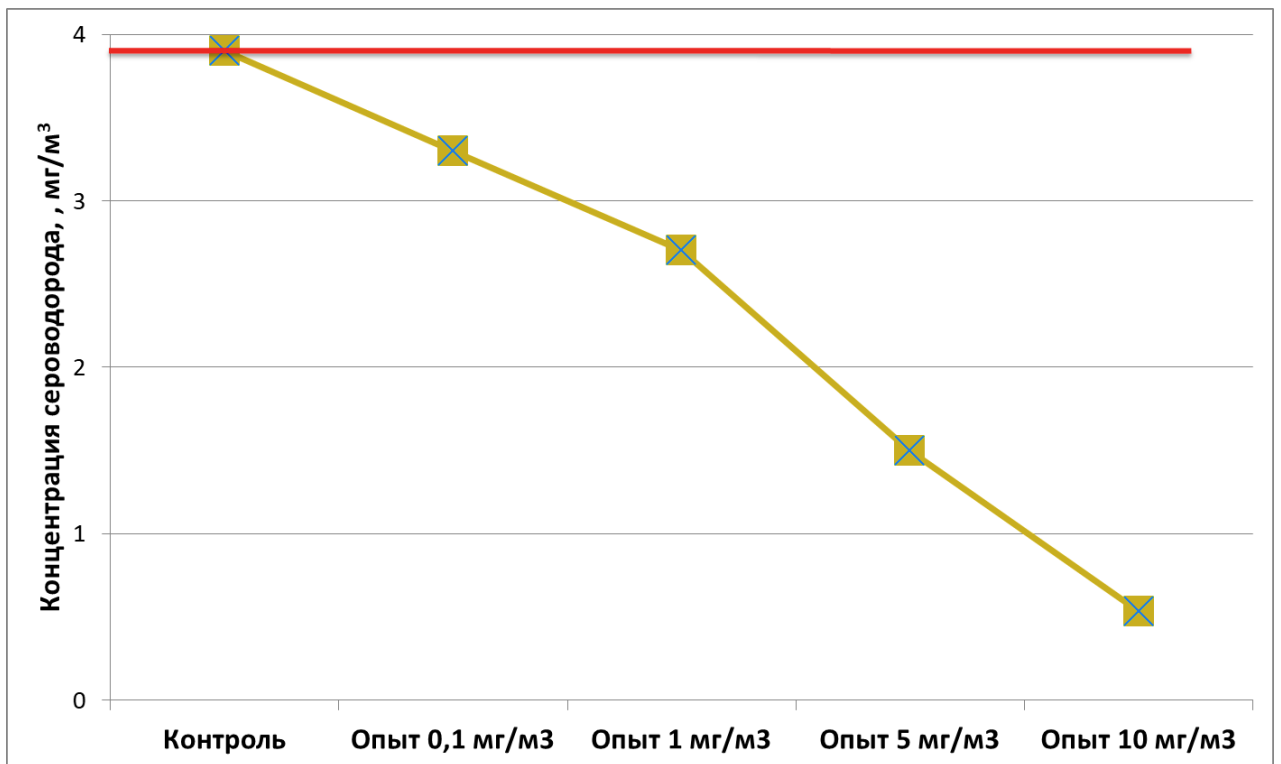


Рисунок 4.16 – Изменения концентрации сероводорода в воздушной среде животноводческого помещения при разных концентрациях озono-воздушной смеси

На основе результатов эксперимента, представленных в таблице 4.3 и на рисунке 4.15, 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 мг/м³ на 11,3% ($p < 0,05$), 24,5% ($p < 0,01$), 65,1% ($p < 0,001$) и 76,2% ($p < 0,001$) соответственно.

Согласно таблицы 4.3 и рисунка 4.16, 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.

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

$$y = -0,2593x^2 - 1,2173x + 15,19 \quad (4.11)$$

$$y = -0,0957x^2 - 0,2797x + 4,278 \quad (4.12)$$

где x – концентрация газообразного озона, мг/м³.

4.4 Выводы по главе

Проведены экспериментальные исследования процесса электрического озонирования воздушной среды по установлению взаимосвязей и получению экспериментальных и регрессионных зависимостей влияния конструктивных и технологических параметров на режимы работы электроозонатора.

Экспериментальными исследованиями по озонированию объёма помещения с применением автономного модуля электроозонатора, работающего по принципу коронного разряда, было установлено, что 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. Для обеспечения стабильной работы устройства необходимо поддерживать температуру электродов на излучателе до +30 °С. Для поддержания температуры необходимо управлять либо напряжением на излучателе, либо экспозицией обработки.

Поэтому процесс образования озона рекомендовано совмещать с принудительной подачей воздуха. Концентрация озона, генерируемая устройством, постепенно снижается с увеличением продолжительности работы при конкретно заданном напряжении. Стоит отметить, что примерно через 60 минут производительность озонаторного устройства снижается в среднем на 22...25%. Отмечено, что на показатели концентрации озона воздействуют напряжение, разрядный промежуток и продолжительность работы устройства. Изменение температуры электродов зависит от продолжительности работы устройства и разрядного промежутка.

Установлено, что при концентрациях озono-воздушной смеси 1 мг/м³; 5 мг/м³ и 10 мг/м³ в воздухе достоверно снижается: общее микробное число на 12,9%, 25,6% и 58,9% соответственно; а патогенного стафилококка достоверно лишь на фоне концентраций в 5 мг/м³ и 10 мг/м³ на 70,9% и 75,9% соответственно.

При осуществлении санитарной обработки озоном сыпучих комбикормов концентрацией 5 и 10 мг/м³ отмечены однонаправленные изменения в сторону снижения общего микробного числа на 8,0% и 12,2% соответственно.

Отмечено достоверное снижение: аммиака в воздушной среде животноводческого помещения при концентрациях озона 0,1; 1; 5 и 10 мг/м³ на 11,3%, 24,5%, 65,1% и 76,2% соответственно; сероводорода лишь при концентрациях озона 1; 5 и 10 мг/м³ на 30,8%, 61,5% и 86,4% соответственно.

Глава 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ

5.1 Расчёт показателей технико-экономической эффективности электроозонирования воздушной среды

Животноводство является наиболее продуктивной отраслью, в задачу которой входит разведение сельскохозяйственных животных. Основными направлениями являются молочное и мясное производство. Выбор лучшего варианта осуществляется на основе сопоставления технических и экономических характеристик с существующим устройством или потенциально возможным вариантом устройства. Выбор вариантов для сравнения производится на основе патентного поиска и изучения литературы по данному направлению.

Оценку экономической эффективности проводили по общей методике оценки экономической эффективности агроинженерных проектов. К агроинженерным проектам конструкторского характера относятся те, в которых ведётся разработка электротехнических или электронных устройств производственно-технического назначения [125, 126].

Оплата труда за изготовление, сборку и настройку проектного электроозонатора будет определена по следующей формуле:

$$Z_{o.mp} = \sum_{i=1}^n t_i \cdot S_{map.}, \quad (5.1)$$

где t_i – время, затраченное на работы i -го вида, ч;

$S_{map.}$ – тариф ставки оплаты труда i -го вида определенного исполнителя, руб./ч.

Оплату трудовых затрат специалистов, осуществляющих опытно-конструкторские работы (ОКР) с устройствами единичного экземпляра, определяют с учетом количества задействованных работников (в рамках проекта из штата электротехнической службы), их квалификации, трудоёмкости работ и ставок по тарифу оплаты часов труда. Полученные расчётные данные из формулы

(5.1) приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оплата труда за изготовление, сборку и настройку проектного электроозонатора

Выполняемые работы	Специалист	Тариф оплаты труда, руб./ч.	Продолжительность работ, ч.	Суммарная оплата труда, руб.
Изготовление излучателя	Инженер-электрик	145	10	1450
Изготовление генератора высокого напряжения (ГВН)	Инженер-электрик	145	4	580
Изготовление корпуса	Токарь-жестянщик	172	2	344
Топология и монтаж основных элементов	Инженер-электрик	145	10	1450
Настройка и наладка оборудования	Инженер-электрик	145	2	290
Итого	–	–	–	4114

Согласно полученным данным (таблица 5.1), оплата труда за изготовление, сборку и настройку проектного электроозонатора в рамках НИОКР составляет $Z_{o.mp}=4114$ руб.

Дополнительные расходы на оплату труда специалиста, осуществляющего ОКР составят:

$$Z_{дон} = Z_{o.mp} \cdot q_{дон}, \quad (5.2)$$

где $q_{дон}$ – поправочный коэффициент, учитывающий надбавку к оплате труда, $q_{дон}=0,1-0,2$.

$$Z_{дон} = 4114 \cdot 0,1 = 411,4 \text{ руб.}$$

Определение единого социального налога осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{соц.н} = (Z_{о.тр} + Z_{доп.}) \cdot q_{соц.}, \quad (5.3)$$

где $q_{соц.}$ – поправочный коэффициент, учитывающий ставку налогообложения, $q_{соц.}=0,34$.

$$Z_{соц.н}=(4114+411,4) \cdot 0,34=1538,64 \text{ руб.}$$

Расчёт затрат на электроэнергию при производстве штучного образца в рамках проведения НИОКР осуществляли по следующей формуле:

$$Z_{эл} = \sum_{g=1}^n P_{эл} \cdot t \cdot c, \quad (5.4)$$

где $P_{эл}$ – электрическая мощность, кВт;

t – время работы электроприемника, ч;

c – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.

Полученные расчётные данные из формулы (5.4) приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Затраты на электроэнергию при производстве штучного образца в рамках проведения НИОКР

Электроприбор	Электрическая мощность, кВт	Время работы электроприёмника, ч	Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.	Итого, руб.
Паяльник	0,06	8	5,4	2,59
Шуруповёрт	0,1	1	5,4	0,54
Сверлильный станок	1,5	1	5,4	8,10
Токарный станок	5,5	1	5,4	29,70
Рабочее освещение	0,04	28	5,4	6,10
Сумма	–	–	–	47,03

Согласно полученным данным (таблица 5.2), затраты на электроэнергию при производстве штучного образца в рамках проведения НИОКР составят $Z_{эл}=47,03$ руб.

Определение затрат на материалы:

$$Z_{mat} = \sum_{j=1}^J n_{Mj} \cdot c_{Mj} , \quad (5.5)$$

где n_{Mj} – расхода j -го материала;

c_{Mj} – стоимость материала, руб.

Затраты на комплектующие:

$$Z_{ком} = \sum_{k=1}^K n_k \cdot c_k , \quad (5.6)$$

где n_k – число комплектующих k типа;

c_k – стоимость комплектующего, руб.

Полученные расчётные данные из формул (5.5 и 5.6) представлены в таблицах 5.3 и 5.4.

Таблица 5.3 – Затраты на материалы

Материал	Единица измерения	Норма расхода	Стоимость единицы, руб.	Стоимость, руб.
Припой	шт	1	200	200
Сетка вольфрамовая	м	0,5	1300	1300
Штыревые электроды	шт	100	1	100
Изоляционная лента	шт	1	40	40
Экранированный провод	м	2	800	1600
Провод ВВГнг 3х1,5	м	20	36	720
Итого				3960

Таблица 5.4 – Затраты на комплектующие

Комплектующее	Единица измерения, шт	Стоимость единицы, руб.	Стоимость, руб.
Умножитель напряжения	1	6200	6200
Реле времени	1	2200	2200
Корпус	1	2850	2850
Щит управления	1	5200	5200
Вентилятор	1	2850	2850
Регулятор оборотов вентилятора	1	500	500
Итого			19800

Согласно полученным данным (таблица 5.3 и 5.4), затраты при производстве штучного образца в рамках проведения НИОКР составили $Z_{\text{мат}}=3960$ руб., $Z_{\text{ком}}=19800$ руб.

Определение накладных расходов на управление и хозяйственное обслуживание проводимых работ:

$$Z_{\text{нак}}=Z_{\text{о.тр}} q_{\text{нак}}, \quad (5.7)$$

где $q_{\text{нак}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий накладные расходы, $q_{\text{нак}}=0,2\dots 1$.

$$Z_{\text{нак}}=4114 \cdot 0,35=1439,9 \text{ руб.}$$

Сумма затрат на проведение НИОКР:

$$Z_{\text{НИОКР}}=Z_{\text{о.тр}}+Z_{\text{доп}}+Z_{\text{соц.н}}+Z_{\text{эл}}+(Z_{\text{мат}}+Z_{\text{ком}})\cdot q_{\text{тр}}+Z_{\text{нак}}, \quad (5.8)$$

где $q_{\text{тр}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий расходы на транспортные и заготовительные мероприятия, $q_{\text{тр}}=1,1$.

$$Z_{\text{НИОКР}}=4114+411,4+1538,64+47,03+(3960+19800)\cdot 1,1+1439,9=33686,97 \text{ руб.}$$

Эксплуатационными затратами на обработку воздушной среды являются материальные затраты на оплату электроэнергии, расходуемой в ходе

обеззараживания и улучшения показателей качества воздуха в животноводческом помещении. В качестве исходных затрат приняли затраты на электроэнергию сопоставимого аналога экспериментальному образцу – электрический озонатор воздуха ГРОЗА 80.

$$Z_{\text{экспл.}i} = 365 \cdot t \cdot P_{\text{ном}} \cdot N \cdot c, \quad (5.9)$$

где t – продолжительность работы устройства в сутки, ч.;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность электроприёмника (озонаторного устройства), кВт.;

N – количество устройств, шт.;

c – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

$$Z_{\text{экспл.баз}} = 365 \cdot 4 \cdot 0,65 \cdot 2 \cdot 5,4 = 10249,2 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{экспл.пр}} = 365 \cdot 4 \cdot 0,52 \cdot 1 \cdot 5,4 = 4099,68 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от применения электротехнологии озонирования в животноводческом помещении можно определить по следующей формуле:

$$\sum \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{экспл.}} + \mathcal{E}_{\text{техн.}}, \quad (5.10)$$

где $\mathcal{E}_{\text{экспл.}}$ – экономический эффект от сокращения эксплуатационных затрат, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{техн.}}$ – экономический эффект от сокращения технологического ущерба, руб.

Экономический эффект от сокращения эксплуатационных затрат определяли по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{экспл.}} = Z_{\text{экспл.баз}} - Z_{\text{экспл.пр}}, \quad (5.11)$$

$$\mathcal{E}_{\text{экспл.}} = 10249,2 - 4099,68 = 6149,52 \text{ руб.}$$

Экономический эффект от сокращения технологического ущерба:

$$\mathcal{E}_{\text{техн.}} = Q_{\text{нед.исх}} - Q_{\text{нед.}i}, \quad (5.12)$$

где $Q_{\text{нед.исх}}$ – объём недополученных средств без системы озонирования, руб.;

$Q_{\text{нед.}i}$ – объём недополученных средств в базовом и проектном вариантах, руб.

Объём недополученных средств без системы озонирования представлен в следующей формуле:

$$Q_{\text{нед.исх}} = N_{\text{заб.}} \cdot Z_{\text{леч}} + N_{\text{нав.}} \cdot Z_{\text{гол}}, \quad (5.13)$$

где $N_{заб.}$ – прогнозируемое количество заболевших животных, гол.;

$Z_{леч}$ – средние затраты на лечение, $Z_{леч}=4200$ руб.;

$N_{пав}$ – прогнозируемое количество павших животных, гол.;

$Z_{гол}$ – стоимость одного теленка (2 мес.), $Z_{гол}=10000$ руб.

Объём недополученных средств составит:

$$Q_{нед.исх}=8 \cdot 4200 + 4 \cdot 10000 = 73600 \text{ руб.}$$

Озонирование воздушной среды концентрациями $0,1 \text{ мг/м}^3$ (с животными внутри помещения) и более позволит снизить бактериальную обсеменённость воздушной среды на 25-30 %, что приводит к сокращению общего технологического ущерба (объём недополученных средств) от 2...10%.

$$Q_{нед.баз}=5 \cdot 4200 + 2 \cdot 10000 = 41000 \text{ руб.},$$

$$Q_{нед.пр}=3 \cdot 4200 + 1 \cdot 10000 = 22600 \text{ руб.}$$

Экономический эффект от сокращения технологического ущерба составит:

$$\mathcal{E}_{техн.баз}=73600 - 41000 = 32600 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_{техн.пр}=73600 - 22600 = 51000 \text{ руб.}$$

Тогда, годовой экономический эффект от применения электротехнологии озонирования в животноводческом помещении можно определить по следующей формуле:

$$\sum \mathcal{E}_{баз} = 0 + 32600 = 32600 \text{ руб.} \quad (5.14)$$

$$\sum \mathcal{E}_{пр} = 6149,52 + 51000 = 57149,52 \text{ руб.}$$

Чистый дисконтированный доход определяют как превышение интегральных результатов над интегральными затратами:

$$K_{сд} = \frac{(1 + E_p)^t - 1}{E_p \cdot (1 + E_p)^t}, \quad (5.17)$$

где E_p – норма дисконта капитала с поправкой на инфляцию.

Норма дисконта капитала с поправкой на инфляцию определим по следующей формуле:

$$E_p = \frac{1 + E}{1 + r} - 1, \quad (5.18)$$

где E – процентная банковская ставка, %;

r – инфляционный уровень, утвержденный банком, %.

Норма дисконта капитала с поправкой на инфляцию будет равна:

$$E_p = \frac{1+0,13}{1+0,08} - 1 = 0,046.$$

Интегральный коэффициент превышения затрат составит:

$$K_{cd} = \frac{(1+0,046)^7 - 1}{0,046 \cdot (1+0,046)^7} = 5,87$$

Чистый дисконтированный доход (ЧДД):

$$ЧДД = -K_i + Э_{общ} \cdot K_{cd}, \quad (5.19)$$

где K_i – суммарные дополнительные капитальные затраты в усовершенствование системы озонирования воздуха.

Для достоверной оценки экономической эффективности проектной разработки необходимо оценить возможный экономический эффект от внедрения наилучшего аналогичного изделия (базовый вариант – озонатор «ГРОЗА 80»). Капитальные затраты на базовый вариант составят:

$$K_{\delta} = C_{\delta} \cdot N, \quad (5.20)$$

где C_{δ} – розничная рыночная стоимость устройства, руб.;

N – количество устройств для обеспечения технологии производства, шт.

$$K_{\delta} = 38200 \cdot 2 = 76400 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты на проектируемый вариант составили:

$$K_{np} = 3_{НИОКР} = 33686,97 \text{ руб.}$$

Чистый дисконтированный доход для базового и проектного варианта составил:

$$ЧДД_{\delta} = -76400 + 32600 \cdot 5,87 = 114962 \text{ руб.}$$

$$ЧДД_{np} = -33686,97 + 57149,52 \cdot 5,87 = 301780,71 \text{ руб.}$$

Индекс доходности проектируемых капиталовложений определяли по следующей формуле:

$$ИД = ЧДД_i / K_i, \quad (5.21)$$

$$ИД_{\delta} = 114962 / 76400 = 1,504,$$

$$ИД_{np} = 301780,71 / 33686,97 = 8,96$$

Срок окупаемости капиталовложений составил:

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{K_{доп} \cdot E_p}{\mathcal{E}_{общ}}\right)}{\ln(1 + E_p)}, \quad (5.22)$$

$$T_{ок.пр} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{76400 \cdot 0,046}{32600}\right)}{\ln(1 + 0,046)} = 2,44 \text{ г.}$$

$$T_{ок.пр} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{33686,97 \cdot 0,046}{57149,52}\right)}{\ln(1 + 0,046)} = 0,6 \text{ г.}$$

Показатели экономической эффективности представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Показатели экономической эффективности

Показатель	Вариант	
	Базовый «ГРОЗА 80»	Проектный
Капитальные затраты, руб.	76400	33687
Количество животных в помещении, гол.	50	50
Прогнозируемое 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	0,6

5.2 Выводы по главе

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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов, В.Ю. Машины и технологии в молочном животноводстве: учебное пособие / В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, С.М. Сидоренко. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 308 с.;
2. Вторый, С.В. Алгоритм управления микроклиматом в животноводческих помещениях / С.В. Вторый, В.Ф. Вторый, Р.М. Ильин // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – № 94. – С. 150-158.
3. Ожередова, Н.А. Санитарная микробиология / Н.А. Ожередова, А.Ф. Дмитриев, В.Ю. Морозов, Е.В. Светлакова, М.Н. Вережкина. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2022. – 176 с.
4. Ксенз, Н.В. Электроозонирование воздушной среды животноводческих помещений: методические рекомендации / Н.В. Ксенз; под науч. ред. И.Ф. Бородина. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1991. - 171 с.
5. Кабанов, С.В. Дезинфекция животноводческих помещений / С.В. Кабанов // Ветеринария. – 2007. – № 5. – С. 10-11.
6. Сивков, Г.С. Дезинфекция животноводческих помещений / Г.С. Сивков, М.А. Левченко // Ветеринария. – 2010. – № 4. – С. 40-42.
7. Семенова, А.С. Анализ методов дезинфекции животноводческих помещений / А.С. Семенова, В.Ю. Гречникова, И.А. Кондакова // Научно-практические достижения молодых учёных как основа развития АПК: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. – С. 265-269.
8. Мальцева, Б.М. Научные достижения и перспективы применения аэрозольных форм химических и биологических препаратов в ветеринарии [Препараты для дезинфекции и дезинсекции] / Б.М. Мальцева // Ветеринария. Реферативный журнал. – 2001. – № 3. – С. 673.

9. Попков, И.В. Сравнительная характеристика различных схем дезинфекции животноводческих помещений / И.В. Попков // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. – С. 136-138.

10. Иванов, Б.Л. Современные технологии дезинфекции животноводческих помещений и оборудования / Б.Л. Иванов, И.Н. Сафиуллин // Развитие АПК и сельских территорий в условиях модернизации экономики: Материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.э.н., профессора Н.С. Каткова. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2020. – С. 86-89.

11. Серикбаев, Р.Е. Использование мобильной дезинфекционной установки с газотурбинным модулем «АИСТ-2М» при проведении дезинфекции животноводческих помещений / Р.Е. Серикбаев, М.И. Кудря, Б.В. Гуринов О.И. Наконечный, Н.М. Колычев // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2011. – № 3(3). – С. 64-69.

12. Фокин, А.И. Разработка новых эффективных методов дезинфекции (санации) воздуха и поверхностей объектов ветеринарного надзора препаратом газообразного йода / А.И. Фокин, А.А. Петрова // Птицеводство. – 2019. – № 6. – С. 56-60.

13. Иванов, Б.Л. Аэрозольная дезинфекция животноводческих помещений / Б.Л. Иванов, А.И. Рудаков, Р.Ф. Шарафеев, Н. Karadag // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: Труды III международной научно-практической конференции. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2019. – С. 114-117.

14. Полянинов, В.Ю. Аэрозольная дезинфекция помещений животноводческих и птицеводческих комплексов / В.Ю. Полянинов // Главный зоотехник. – 2006. – № 6. – С. 55-58.

15. Муравьев, А.В. Применение электроаэрозолей для дезинфекции животноводческих помещений / А.В. Муравьев, С.В. Вендин // Физика и современные технологии в АПК: Материалы XII Всероссийской (с

международным участием) молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников. – Орел: Издательство Картуш, 2021. – С. 323-325.

16. Плотников, И. В. Изучение эффективности режимов аэрозольной дезинфекции скотоводческих помещений в присутствии животных / И. В. Плотников, Л. А. Глазунова // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 9(150). – С. 91-97.

17. Li, Simon. Review of Engineering Controls for Indoor Air Quality: A Systems Design Perspective // Sustainability. 2023. – 15(19). – P. 14232. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151914232>

18. Пилюгина, Д.М. Анализ средств используемых для проведения дезинфекции в животноводческих и птицеводческих помещениях / Д.М. Пилюгина, И.В. Кныш // Вестник Студенческого научного общества. – 2014. – № 1. – С. 200-201.

19. Латышенко, М.Б. Методика исследования дезинфекции животноводческих помещений с применением кавитации струи моющей жидкости / М.Б. Латышенко // Сборник научных работ студентов Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева: по материалам научно-практической конференции «Инновационные направления и методы реализации научных исследований в АПК». – Рязань: Изд-во Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2012. – С. 14-17.

20. Заживихина, Е.И. Средство для дезинфекции животноводческих помещений / Е.И. Заживихина, С.А. Маркова // Актуальные проблемы защиты окружающей среды: тезисы докладов региональной научной конференции. – Чебоксары: ЗАО «Порядок», 2006. – С. 28.

21. Трошин, Е.И. Дезинфектанты для промышленного животноводства / Е.И. Трошин, Л.А. Бочкарева // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 2(31). – С. 48-49.

22. Magbanua Jr. Combined ozone and ultraviolet inactivation of Escherichia coli / Jr.Magbanua, G. Savant, D.D. Truax // J. Environ. Sci. Health A, 2006. – 41 (6). – P 1043–1055. <https://doi.org/10.1080/10934520600620279>.

23. Семенова, А.С. Анализ методов дезинфекции животноводческих помещений / А.С. Семенова, В.Ю. Гречникова, И.А. Кондакова // Научно-практические достижения молодых учёных как основа развития АПК: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. – С. 265-269.
24. Tran, V.V. Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality / V.V. Tran, D. Park, Y.C. Lee // *Int J Environ Res Public Health*, 2020. – 17(8). – P.2927. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17082927>
25. Liu, G. A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation / G. Liu, M. Xiao, X. Zhang, C. Gal // *Sustainable Cities and Society*, 2017. – 32. P 375–396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.04.011>
26. Яблоков, В.А. Анализ динамики вентиляции помещений животноводческих зданий / В.А. Яблоков, В.И. Бодров, О.В. Мовчанюк // Приволжский научный журнал. – 2007. – № 4. – С. 74-82.
27. Довлатов, И.М. Технология и средство для улучшения микроклимата животноводческих помещений / И.М. Довлатов, А.А. Смирнов, Д.Ю. Павкин, В.П. Заикин // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 4(107). – С. 34-43.
28. Rosenblum J. Ozonation as a clean technology for fresh produce industry and environment: sanitizer efficiency and wastewater quality / J. Rosenblum, C. Ge, Z. Bohrerova, A. Yousef, J. Lee // *J. Appl. Microbiol*, 2012. – 113 (4). – P. 837–845. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05393.x>
29. Довлатов, И.М. Сравнение эффективности обеззараживания помещения установкой «ОЗУФ» и комбинированным рециркулятором «АрУФ» / И.М. Довлатов, Л.Ю. Юферев // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. – 2019. – № 1(34). – С. 48-52.
30. Тиганов, В.С. Применение ультрафиолетового излучения и озона для дезинфекции объектов / В.С. Тиганов // *Ветеринария*. – 2010. – № 9. – С. 37-39.

31. Зыкова, С.С. Вопросы применения дезинфекции методом озонирования на животноводческих объектах / С.С. Зыкова, Н.В. Старцева, А.П. Чернобровкина, И.А. Родин // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2018. – № 70. – С. 122-126.

32. Горбатовский, Е.С. Применение электроозонирования воздуха в птичнике / Е.С. Горбатовский, С.В. Вендин // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: Материалы Международной студенческой научной конференции. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2021. – С. 48.

33. Лучинкин, С.П. Озонирование воздушной среды животноводческих помещений в целях их санации / С.П. Лучинкин // Совершенствование механизации и электрификации технологических процессов в животноводстве: Сборник научных трудов Всероссийского Научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ВНИПТИМЭСХ). – зерноград: Печатно-множительная группа Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института механизации и электрификации сельского хозяйства, 1986. – С. 69-76.

34. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Введ. 01 января 1989. – М.: Стандартиформ, 2008. – 83 с.

35. Бурак, Л.Ч. Современные методы обработки и консервирования плодоовощного сырья / Л.Ч. Бурак. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 488 с.

36. Кириллов, В.В. Неорганическая химия. Свойства элементов и их соединений / В.В. Кириллов. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 380 с.

37. Суворов, А.В. Общая химия: учебник для студентов вузов / А.В. Суворов, А.Б. Никольский. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2007. – 622 с.

38. Глинка, Н.Л. Общая химия: учебное пособие / Н.Л. Глинка. – М.: КноРус, 2016. – 746 с.

39. Кожинов, В.Ф. Озонирование воды / В.Ф. Кожинов. – Москва: Стройиздат, 1974. – 160 с.

40. Орлов, В.А. Озонирование воды / В.А. Орлов. – Москва: Стройиздат, 1984. – 89 с.
41. Ильина, Е.А. Озонирование камер при хранении пищевых продуктов / Е.А. Ильина, В.В. Коваль и др. // Холодильная техника. – 1979. – №8. – С. 56-57.
42. Кривопишин, И.П. Озон в промышленном птицеводстве. 2-е изд., перераб. и доп. / И.П. Кривопишин. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 173 с.
43. Губернский, Ю.Д.. Озонированный режим жилых и общественных зданий и его роль в обеспечении воздушного комфорта / Ю.Д. Губернский, М.Т. Дмитриев // Водоснабжение и сантехника. – 1979. – №1. – С.17-18.
44. Koshchaev, A.G. To the questions of the use of disinfection by the method of ozonation on livestocking facility / A.G. Koshchaev, I.A. Rodin, L.P. Vishniveckaya, M.I. Rodin, M.G. Iakovets // Znanstvena Misel. – Global Science Center LP, 2019. – № 2-1 (27). – P. 5-8.
45. Астафьев, Д.В. Использование озона в технологических процессах агропромышленного комплекса / Д.В. Астафьев // Достижения науки - агропромышленному производству: материалы LV международной научно-технической конференции. Секции 12-16: Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. Физика, химия и нанотехнология. Механика и математические методы. Безопасность жизнедеятельности и техническая эксплуатация автотранспорта. Тепловодогазоснабжение сельского хозяйства. – Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2016. – С. 9-14.
46. Плотников, И.В. Влияние дезинфекции на количественный и качественный состав микрофлоры животноводческих помещений / И.В. Плотников, Л.А. Глазунова // Ветеринария и кормление. – 2020. – № 1. – С. 40-42.
47. Озон в качестве эффективного метода дезинфекции [Электронный ресурс] – URL: <https://imcleaning.ru/info/articles/ozon-v-kachestve-effektivnogo-metoda-dezinfektsii/> (Дата обращения 15.05.2020 г.).
48. Epelle E. Bacterial and fungal disinfection via ozonation in air / E. Epelle, A. Macfarlane, C. Michael, A. Burns, B. Thissera, W. Mackay, M. Yaseen // Journal of

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2022.106431>.

49. Moore G. Bactericidal properties of ozone and its potential application as a terminal disinfectant / G. Moore, C. Griffith, A. Peters // J. Food Prot, 2000. – 63(8). – P. 1100–1106. – DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028x-63.8.1100>

50. Бардакова, Е.А. Применение озонирования как наиболее экологического метода дезинфекции / Е.А. Бардакова, С.А. Андреев // Энергия будущего: в рамках рынка НТИ Энерджинет: сборник трудов научно-практической конференции молодых ученых электроэнергетического факультета. – Ставрополь: АГРУС, 2021. – С. 33-35.

51. Юферев, Л.Ю. Испытания комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха в птичнике / Юферев Л.Ю., Д.М. Селезнева // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 45-50.

52. Murray V.K. Virion disruption by ozone-mediated reactive oxygen species / V.K. Murray, S. Ohmine, D.P. Tomer // J Virol Methods. –2008. – 153(1) – P. 74-77. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2008.06.004>

53. Попов, П.А. Технология обеззараживания объектов ветеринарного надзора в птицеводстве с применением озона: специальность 06.02.05 «Ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная экспертиза»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Попов Петр Александрович. – Москва, 2013. – 27 с.

54. Гречникова, В.Ю. О важности дезинфекции животноводческих помещений / В.Ю. Гречникова, И.А. Кондакова, А.В. Суханова // Технологические новации как фактор устойчивого и эффективного развития современного агропромышленного комплекса: Материалы Национальной научно-практической конференции. – Рязань: Издательство ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», 2020. – С. 224-229.

55. Егоров, М.Ю. Энергоэффективная система кондиционирования воздуха ферм с обеззараживанием озоном / М.Ю. Егоров, Г.Н. Самарин // Научно-

технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Материалы Международной научно-технической конференции. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – С. 167-170.

56. Бисерова, М.Т. Озонотерапия в ветеринарии / М.Т. Бисерова // Молодежь и наука. – 2023. – № 4.

57. Чижевский, А.Л. Тайна живого воздуха. Монография / А.Л. Чижевский. – Калуга: НПО «Гелиос» им. А.Л. Чижевского, 2004. – 295 с.

58. Рудаков, В.В. Ионизация воздуха в животноводческих помещениях / В.В. Рудаков, С.К. Александрова. – Ленинград: Агропромиздат, 1987. – 62 с.

59. Сторчевой, В.Ф. Электротехнология озонирования и ионизации воздушной среды в животноводческих помещениях / В.Ф. Сторчевой, А.В. Федин, Р.Ю. Чернов, А.М. Зиновьев // Природообустройство. – 2008. – № 2. – С. 112-116.

60. Волошин, А.П. Экспериментальные исследования параметров и режимов электротехнологического процесса озонирования яйцескладов птицефабрик / А.П. Волошин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 121. – С. 1136-1150.

61. Волошин, А.П. Параметры и режимы электротехнологического процесса озонирования яйцескладов птицефабрик: специальность 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Волошин Александр Петрович. – Краснодар, 2016. – 22 с.

62. Безруких, Н.С. Опыт применения озонаторов на молочном заводе / Н.С. Безруких, Е.Г. Безруких // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 8(35). – С. 134-137.

63. Патент № 2429192 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Электроозонатор : № 2009133067/05 : заявл. 02.09.2009 : опубл. 20.09.2011 / Д. А. Овсянников, С. А. Николаенко, А. П. Волошин, [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».

64. Патент № 2524921 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Способ контроля производительности озонатора и устройство для его осуществления : № 2013103960/07 : заявл. 29.01.2013 : опубл. 10.08.2014 / И. Г. Стрижков, О. Н. Разнован, Л. А. Дайбова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».

65. Безруких, Н.С. Влияние влажности воздуха на работу озонатора при обработке замкнутых объемов / Н.С. Безруких // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 10(49). – С. 15-19.

66. Сторчевой, В.Ф. Создание озонно-ионной воздушной среды в закрытых помещениях для содержания животных и птицы / В.Ф. Сторчевой, С.В. Сучугов, А.Е. Компаниец // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2019. – № 3(91). – С. 35-39.

67. Сторчевой, В.Ф. Исследование параметров и режимов работы озонатора-ионизатора для молочных ферм / В.Ф. Сторчевой, Н.Е. Кабдин, А.Е. Компаниец // Агроинженерия. – 2020. – № 3(97). – С. 50-54.

68. Сторчевой, В.Ф. Математическое моделирование стационарных процессов ионизатора-озонатора / В.Ф. Сторчевой // Природообустройство. – 2012. – № 2. – С. 78-82.

69. Патент № 2523805 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор : № 2013105279/05 : заявл. 07.02.2013 : опубл. 27.07.2014 / Д. В. Лебедев, П. С. Кузьменко, М. О. Якименко, И. Д. Лебедев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет»

70. Патент № 2497749 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Способ определения конструктивных параметров электроозонатора : №

2011128231/05 : заявл. 07.07.2011 : опубл. 10.11.2013 / Д. А. Нормов, Е. А. Федоренко, Е. И. Шуськин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».

71. Сторчевой, В.Ф. Снижение потерь энергетических показателей электроозонаторов / В.Ф. Сторчевой, Р.Ю. Чернов // Природообустройство. – 2011. – № 2. – С. 95-98.

72. Волошин, С.П. Особенности применения генераторов озона в сельском хозяйстве / С.П. Волошин, Д.Д. Кривчик, А.П. Донсков // Инновационная наука. – 2016. – № 8-2. – С. 35-38.

73. Светлов, В.Д. Предпосылки использования озона на объектах АПК / В.Д. Светлов // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы X национальной научно-практической конференции с международным участием. – Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2019. – С. 193-195. –

74. Howard K. College students' understanding of atmospheric ozone formation / K. Howard, S. Brown, S. Chung, T. Jobson, T. Vanreken // Chemistry Education Research and Practice. 2013. – 14. – P. 51.

75. Леонова, С.В. Система очистки воздуха в животноводческих помещениях при помощи озонирования / С.В. Леонова // Электроэнергетика и информационные технологии: сборник научных трудов. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2012. – С. 52-56.

76. Emami M. Ozonation and Electron Beam Irradiation of Dyes Mixture / M. Emami, M. Parsaeian, M. Banaei. //Ozone: Science and Engineering. 35. – DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2012.721715>.

77. Получение озона. Действие озона на биологические ткани [Электронный ресурс] – URL: <https://www.freepapers.ru/34/poluchenie-ozona-dejstvie-ozonana/228740.1578770.list2.html> (Дата обращения: 29.09.2020 г).

78. Kishimoto N. Ozonation combined with electrolysis - a new advanced oxidation technology / N. Kishimoto, T. Nakagawa, M. Asano, M. Abe, M. Yamada, Y.

Ono // Water Resources Research Progress. – 2008. – P. 205-224. – DOI: doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.029>

79. Шатилов, Ю.И. К образованию озона при обеззараживании воздуха УФ-излучением в вентиляционных каналах / Ю.И. Шатилов, Р.Э. Приyman, Л.Ю. Виснапуу, В.В. Сысоев // Гигиена и санитария. – 1989. – № 9. – С. 72-73.

80. Claus H. Ozone Generation by Ultraviolet Lamps / H. Claus // Photochemistry and photobiology. – 2021. – 97(3). – P. 471-476. – DOI: <https://doi.org/10.1111/php.13391>.

81. Piskarev I. The formation of ozone and UV radiation from high-power pulsed electric discharges / I. Piskarev, V. Ushkanov, V. Selemir, G. Spirov, I. Pikar, E. Zuimach // Russian Journal of Physical Chemistry A, Focus on Chemistry. – 2008. – 82. DOI: <https://doi.org/10.1134/S003602440809029X>.

82. Силкин, Е. Синтез озона в электрических разрядах и повышение его эффективности. Часть 1 / Е. Силкин // Компоненты и технологии. – 2008. – № 6(83). – С. 136-143.

83. Силкин, Е. Синтез озона в электрических разрядах и повышение его эффективности. Часть 2 / Е. Силкин // Компоненты и технологии. – 2012. – № 10(135). – С. 149-154.

84. Токарев, А.В. Сравнительные характеристики синтеза озона в коронных разрядах / А.В. Токарев // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2008. – Т. 8, № 10. – С. 106-110.

85. Важов, В.Ф. Техника высоких напряжений. Учебник для бакалавров направления 140200 «Электроэнергетика» / В.Ф. Важов, В.А. Лавринович // – М.: ИНФРА-М, 2014. – 263 с.

86. Кочетков, Н.П. Виды коронного разряда для озонирования воздуха / Н.П. Кочетков, Р.И. Гаврилов // Научное и кадровое обеспечение АПК для продовольственного импортозамещения: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – С. 210-213.

87. Гаврилов, Р.И. К выбору режима работы озонатора воздуха / Р.И. Гаврилов, Н.П. Кочетков // Инновационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства: материалы Международной научно-практической конференции. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. – С. 16-20.

88. Басиев, А.А. Применение озона для технологий дезинфекции в сельском хозяйстве / А.А. Басиев, А.Г. Басиев, А.Ф. Селиверстов, С.В. Горностаева, Б.Г. Ершов // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции. – Обнинск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 2018. – С. 253-256.

89. Бутенко, В.А. Техника высоких напряжений: учебное пособие / В.А. Бутенко, В.Ф. Важов, Ю.И. Кузнецов, Г.Е. Куртенков, В.А. Лавринович, А.В. Мытников, М.Т. Пичугина, Е.В. Старцева. – Томск: Издательство ТПУ, 2008. – 119 с.

90. Татур, Т.А. Основы теории электромагнитного поля: справочное пособие для электротехнических специальностей вузов / Т.А. Татур. – М.: Высшая школа, 1989. – 271 с.

91. Татур, Т.А. Основы теории электрических цепей: справочное пособие / Т.А. Татур. – М.: Высшая школа, 1980. – 272 с.

92. Расстригин, В.Н. Методика расчета энергосберегающей системы микроклимата с электротеплоутилизатором и озонатором / В.Н. Расстригин, А.В. Тихомиров, Д.А. Тихомиров, А.Ф. Першин // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 2. – С. 19-23.

93. Архипцев, А.В. Методика подбора оборудования для дезинфекции в животноводстве / А.В. Архипцев, Д.Г. Гелетий // Агротехника и энергообеспечение. – 2016. – № 3(12). – С. 25-33.

94. Ломака, М.А. Перспективы применения озонирования воздуха в птицеводстве / М.А. Ломака, С.В. Вендин // Физика и современные технологии в

АПК: материалы XII Всероссийской (с международным участием) молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников. – Орел: Издательство Картуш, 2021. – С. 3-5.

95. Ксенз, Н.В. Распределение озона от электроозонатора в воздушной среде производственного помещения / Н.В. Ксенз, И.Г. Сидорцов, А.В. Белоусов // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 4(40). – С. 70-76.

96. Карпова, С.В. Применение озона в качестве дезинфектанта в животноводстве / С.В. Карпова, Р.Г. Раджабов // Электронный научный журнал. – 2019. – № 9(29). – С. 11-14.

97. Санжаровская, М.И. Озонирование и ионизация воздушной среды в животноводческих помещениях / М.И. Санжаровская // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2008. – № 4. – С. 1162.

98. Смородин, А. Генератор озона нового поколения: монография / А. Смородин, Е. Сторчай. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2017. – 114 с.

99. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения (с Поправкой). – Введ. 21 июня 2016. – М.: Стандартинформ, 2016. – 101 с.

100. ГОСТ 20.57.406-81. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний (с Изменениями N 1-10). Введ. 01 января 1982. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 208 с.

101. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.–Введ. 26 июня 1996. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. –13 с.

102. ГОСТР 8.911-2016. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Генераторы озона. Методика поверки. – Введ. 01 февраля 2017. –М.: Стандартинформ, 2019. – 25 с.

103. ГОСТ 31829-2012. Оборудование озонаторное. Требования безопасности. – Введ. 01 января 2014. – М.: Стандартинформ, 2019. – 11 с.

104. Мануйленко, А.Н. Конструкция электрического озонатора воздуха для животноводческих помещений / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Агроинженерия. – 2021. – № 3(103). – С. 74-79.

105. Патент на полезную модель № 205379 U1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Электрический озонатор воздуха : № 2020141915 : заявл. 23.03.2020 : опубл. 13.07.2021 / А. Н. Мануйленко, С. В. Вендин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина».

106. Патент на полезную модель № 204184 U1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11, F24F 3/16, B01J 7/00. Электрический озонатор воздуха : № 2020142852 : заявл. 23.12.2020 : опубл. 13.05.2021 / А. Н. Мануйленко, С. В. Вендин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина».

107. Патент № 2787881 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Электроозонатор : № 2021138949 : заявл. 24.12.2021 : опубл. 13.01.2023 / А. Н. Мануйленко, С. В. Вендин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина».

108. 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.

109. Хизбуллин, А.М. Проектирование маломощных генераторов озона / А.М. Хизбуллин, А.Ф. Минибаев, А.М. Нуриева // Современные тенденции развития науки и производства: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. – Кемерово: ООО «Западно-Сибирский научный центр», 2017. – С. 257-261.

110. Черный, К.А. Методологический подход к применению коронных аэроионизаторов при проведении коррекции аэроионного состава воздуха помещений / К.А. Черный // Инженерно-строительный журнал. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2012. – № 6 (32). – С. 48-53.

111. Юферев, Л.Ю. Многопрограммное устройство управления облучателями-озонаторами «ОЗУФ» при выращивании молодняка птицы / Л.Ю. Юферев, Д.А. Баранов // Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2008. – Т. 5. – С. 240-244.

112. Расстригин, В.Н. Методика расчета энергосберегающей системы микроклимата животноводческих помещений [система микроклимата с утилизацией теплоты, рециркуляцией, очисткой и обеззараживанием воздуха озонированием] / В.Н. Расстригин, Д.А. Тихомиров // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – М.: Издательство Центральная научная сельскохозяйственная библиотека, 2008. – № 2. – С. 543.

113. ГОСТ Р 8.911-2016. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Генераторы озона. Методика поверки. – Введ. 01 февраля 2017. – М.: Стандартинформ, 2019. – 25 с.

114. Шевченко, А.А. Блоки питания генераторов озона, используемых в сельскохозяйственном производстве / А.А. Шевченко, Я.С. Ефимкин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 130. – С. 128-138.

115. Пронин, В.П. Электризация рельефных диэлектрических поверхностей в поле коронного разряда / В.П. Пронин, И.С. Панова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 3, № 1(40). – С. 124-128.

116. Мануйленко, А.Н. Электроозонирование животноводческих помещений / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин // Сельский механизатор. – 2019. – № 12. – С. 22-23.

117. Лелевкин, В.М. Барьерные и коронные разряды – генераторы озона / В.М. Лелевкин, А.В. Токарев. – Бишкек: Издательство Кыргызско-Российского Славянского университета, 2020. – 240 с.
118. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.Е. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
119. Богданович, Н.И. Расчеты в планировании эксперимента. Учебное пособие / Н.И. Богданович. – Л.: Издательство ЛТА, 1978. – 80 с.
120. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учебное пособие для студентов вузов. – 7-е изд., доп. / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2003. – 405 с.
121. Баженов, В.И. Основы планирования и моделирования в теории инженерного эксперимента / В.И. Баженов, А.Н. Стрельченко. – М.: МАИ, 1983. – 59 с.
122. Сидняев, Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие для магистров / Н.И. Сидняев. – М.: Издательство «Юрайт», 2012. – 399 с.
123. МУК 4.2.734-99. Методы контроля. Микробиологический мониторинг производственной среды. Методические указания. – М.: ЦентрМАГ, 2023. – 28 с.
124. ГОСТ ISO 7218-2015. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям. – Введ. 01 июля 2016. – М.: Стандартинформ, 2016. – 69 с.
125. Экономическое обоснование инженерных проектов в инновационной экономике / А.В. Бабилова, Е.А. Кобец, М.Н. Корсаков [и др.]. – Москва: Издательский Дом «Инфра-М», 2016. – 144 с.
126. Водяников, В.Т. Экономическая оценка проектных решений в агроинженерии / В.Т. Водяников, Н.А. Серeda, О.Н. Кухарев, Е.Ф. Малыха, Т.М. Василькова. – Москва: Издательство «Лань», 2019. – 436 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
 УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 ИМЕНИ В.Я. ГОРИНА»
 (ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ)

308503, пос. Майский Белгородского района Белгородской области, ул. Вавилова, 1.
 ОКПО 04717947; ОГРН 1023100508078; ИНН/КПП 3102005412/ 310201001
 Тел.: (4722) 39-21-79, Fax.: (4722) 39-22-62, E-mail: info@bsaa.edu.ru

«Утверждаю»

Ректор ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ



С.Н. Алейник С.Н. Алейник

«24» *сентября* 2024 г.

**Справка
 о внедрении результатов исследований**

Результаты научных исследований Мануйленко Александра Николаевича по теме «Разработка и исследование озонатора-излучателя воздуха на электродах с керамическим основанием для животноводческих помещений» используются при чтении лекций и проведении лабораторно-практических занятий с обучающимися по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия (дисциплина «Эксплуатация электрооборудования») и специальности 35.02.08 – Электрификация и автоматизация сельского хозяйства (МДК.05.01 «Электромонтер по обслуживанию установок») на кафедре электрооборудования и электротехнологий в АПК.

Декан инженерного факультета

Макаренко А.Н.

Проректор по учебной работе

Клостер Н.И.



ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ
«РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК»
НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

ДИПЛОМ

— • НАГРАЖДАЕТСЯ • —

лауреат конкурса научных работ,
направленных на обеспечение импортнезависимости
и технологического суверенитета Российской Федерации,
посвящённого 300-летию РАН

**Мануйленко
Александр Николаевич**

преподаватель инженерного факультета, кафедры электрооборудования
и электротехнологий в АПК ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

за работу

**«Технология и технические средства
для распространения заразных болезней животных
с применением электроозонаторства»**

Руководитель Представительства
ФГБУ «Российская академия наук»
на территории Белгородской области,
член-корреспондент
Российской академии наук

г. Белгород, 2024 г.

Е.С. Савченко



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе и
инновациям
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ
им. В.Я. Горина
Ю.А. Китаев
«27» марта 2023 г.

АКТ

О ПРОВЕДЕНИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Настоящий АКТ, составленный по результатам экспериментальных исследований применения автономного модуля электроозонатора для оздоровления воздушной среды.

Исследования проводились на кафедре электрооборудования и электротехнологий в АПК инженерного факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ в феврале 2023 года. Цель исследований предполагала оценку влияния концентрации (дозы) озона на микробиологические параметры воздушной среды помещений.

Исследования проводили с помощью экспериментального образца автономного модуля электроозонатора (патент на изобретение №2787881), который представлен на рисунке 1.

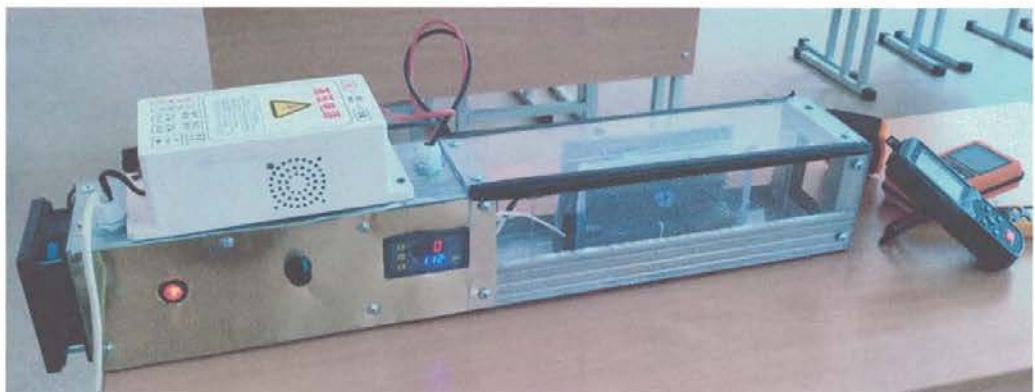


Рисунок 1 – Экспериментальный образец автономного модуля электроозонатора

Схема опыта представлена в таблице 1

Таблица 1 – Схема опыта

Испытания	Концентрация озона, мг/м ³	Экспозиция, мин.
контроль	-	-
опыт	1	30
	5	
	10	

Для измерения параметров использовались газоанализаторы ЭЛАН ОЗ, WELUOT DM509-ОЗ для газового контроля воздуха и чашки Петри со средой для микробиологического контроля воздуха.

Микробиологические показатели воздуха до и после обработки озоном различной концентрации (1; 5; 10 мг/м³) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Микробиологические показатели воздуха до (контроль) и после обработки (опыт) озоном различной концентрации (1; 5; 10 мг/м³)

Показатель	Контроль	Концентрация озона, мг/м ³		
		1	5	10
Общее микробное число (ОМЧ), КОЕ/ м ³	457,0±18,6	398,0±15,0*	340,0±15,6**	188,0±10,4***
Патогенный стафилококк, КОЕ/м ³	79,0±7,4	71,0±4,4	23,00±6,3**	19,0±6,9**
Плесень, КОЕ/м ³	более 20	более 20	более 10	более 10

Примечание: разница достоверна по отношению к контролю: * – p<0,05; ** – p<0,01, *** – p<0,001

В результате проведения исследований установлено, что озонирование воздушной среды помещений экспериментальным образцом автономного модуля электроозонатора показало свою эффективность в отношении снижения микробной контаминации (ОМЧ, патогенного стафилококка, плесени). Для производства можно рекомендовать режим обеспечивающий концентрацию озона 10 мг/м^3 с экспозицией 30 мин.

Преподаватель кафедры ЭОиЭТ
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ



Мануйленко А.Н.

Зав. кафедрой ЭОиЭТ
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, профессор, д.т.н.



Вендин С.В.

Начальник испытательной лаборатории
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ



Обернихина Н.И.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 787 881** (13) **C1**
 (51) МПК
C01B 13/11 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C01B 13/11 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021138949, 24.12.2021
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 24.12.2021
 Дата регистрации:
 13.01.2023
 Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: 24.12.2021
 (45) Опубликовано: 13.01.2023 Бюл. № 2
 Адрес для переписки:
 308503, Белгородская обл., Белгородский р-н,
 п. Майский, ул. Вавилова, 24, ФГБОУ ВО
 Белгородский ГАУ, Руснак И.В.

(72) Автор(ы):
 Мануйленко Александр Николаевич (RU),
 Вендин Сергей Владимирович (RU)
 (73) Патентообладатель(и):
 Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Белгородский государственный
 аграрный университет имени В.Я. Горина"
 (RU)
 (56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 204184 U1, 13.05.2021. RU 2523805
 C1, 27.07.2014. RU 2174095 C2, 27.09.2001. RU
 2122519 C1, 27.11.1998. RU 2349431 C2,
 20.03.2009. RU 2429192 C2, 20.09.2011. RU
 2699265 C1, 04.09.2019. RU 2185319 C1,
 20.07.2002. US 5945073 A1, 31.08.1999. CN
 2855519 Y, 10.01.2007.

(54) Электроозонатор

(57) Реферат:
 Электроозонатор относится к устройствам для получения озона, к области электротехнологии и может быть использован для обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях с целью профилактики и ограничительных мер, направленных на предотвращение распространения заразных болезней животных. Электроозонатор включает прорезиненные ножки, на которые установлены озоноустойчивый корпус, к которому прикреплены защитная сетка, компрессор, электродвигатель с лапками крепления и лопастями вентилятора и вакуумный флюгер на кронштейне крепления. На вакуумном флюгере установлены электрические контакты, выполненные с возможностью передачи сигнала на блок управления о работе электродвигателя и выполненные с возможностью последующего осуществления передачи сигнала на регулируемый генератор высокого напряжения и с

возможностью 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. Блок управления и регулируемый генератор высокого напряжения размещены на внешней панели озоноустойчивого корпуса. Датчик озона на выходе из озоноустойчивого корпуса. Датчик контроля озона и датчик контроля температуры воздуха установлены в обрабатываемом помещении. Кнопка включения/выключения и предохранители размещены на передней панели блока управления. Электроозонатор обеспечивает надежность работы электрического устройства, а именно отключение в случае аварийной ситуации, защиту от перегрева и критической концентрации озона в обрабатываемом помещении, равномерную дезинфекцию

RU 2 787 881 C 1

RU 2 787 881 C 1



приоритет2030[^]

лидерами становятся

ДИПЛОМ

6 степени

участника III этапа Всероссийского конкурса
на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов
и молодых ученых аграрных образовательных
и научных организаций России в номинации
«Электротехнологии, электрооборудование
и энергоснабжение АПК»

Мануйленко Александра Николаевича
Белгородский государственный аграрный университет
имени В.Я. Горина

Ректор Ставропольского
государственного аграрного
университета

В. Н. Ситников

19 мая 2023 г.





ДИПЛОМ

I место

*в номинации «Электротехнологии,
электрооборудование и энергоснабжение АПК»*

II этапа

Всероссийского конкурса на лучшую научную работу
среди студентов, аспирантов и молодых ученых
высших учебных заведений минсельхоза России

награждается

Мануйленко Александр Николаевич

Ректор,
д.б.н., профессор



В.Н. Масалов

Орёл, 5-11 апреля 2022 г.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 205379**Электрический озонатор воздуха**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина" (RU)*

Авторы: *Мануйленко Александр Николаевич (RU), Вендин Сергей Владимирович (RU)*

Заявка № 2020141915

Приоритет полезной модели 23 марта 2020 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 13 июля 2021 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 23 марта 2030 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивашев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 204184**Электрический озонатор воздуха**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина" (RU)*

Авторы: *Мануйленко Александр Николаевич (RU), Вендин Сергей Владимирович (RU)*

Заявка № 2020142852

Приоритет полезной модели 23 декабря 2020 г.


Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 13 мая 2021 г.Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 23 декабря 2030 г.

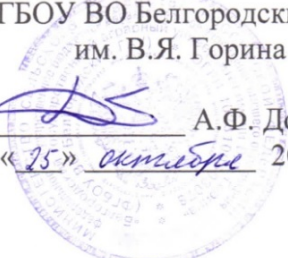
*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев




СОГЛАСОВАНО
Проректор по научной работе и
инновациям
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ
им. В.Я. Горина


А.Ф. Дорофеев
«25» октября 2021 г.



УТВЕРЖДАЮ
Глава ИП КФХ Горбачев Роман
Анатольевич


Р.А. Горбачев
«25» октября 2021 г.



Справка

об использовании результатов НИР по теме:

«Разработка конструкции и обоснование параметров электрического озонатора воздуха для животноводческих помещений»

Настоящей справкой подтверждается то, что результаты НИР по теме «Разработка конструкции и обоснование параметров электрического озонатора воздуха для животноводческих помещений» отличаются технической новизной (патенты RU 204184 U1 от 13.05.2021, RU 205379 U1 от 13.07.2021) и приняты к использованию в ИП КФХ Горбачев Роман Анатольевич.

Разработанный электрический озонатор воздуха предназначен для обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях с целью профилактики и ограничительных мер, направленных на предотвращение распространения заразных болезней животных.

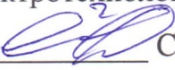
Для практического использования приняты:


1. Конструктивная схема электрического озонатора воздуха позволяющая повысить эффективность дезинфекции и дезинсекции воздуха в производственных животноводческих помещениях.

2. Рекомендации по составу конструктивных элементов электрического озонатора и функциональная схема работы электрического озонатора, а также алгоритм управления системой озонирования животноводческих помещений.


3. Рекомендации по использованию системы озонирования в коровнике на 100 голов путем интегрирования ее в систему кондиционирования помещения и структурная технологическая схема системы озонирования животноводческих помещений.

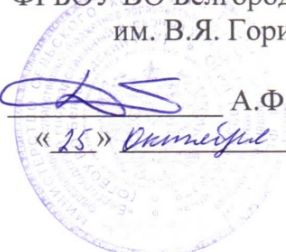
Глава ИП КФХ Горбачев Роман Анатольевич _____  Р.А. Горбачев

Заведующий кафедрой «Электрооборудования и электротехнологии в АПК»
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, д.т.н., профессор _____  С.В. Вендин

Преподаватель кафедры «Электрооборудования и электротехнологии в АПК»
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ _____  А.Н. Мануйленко

СОГЛАСОВАНО
Проректор по научной работе и
инновациям
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ
им. В.Я. Горина


А.Ф. Дорофеев
«25» Октября 2021 г



УТВЕРЖДАЮ
Директор ООО «Биоритм»
Р.А. Горбачев
«25» Октября 2021 г



Справка

об использовании результатов НИР по теме:

«Разработка конструкции и обоснование параметров электрического озонатора воздуха для животноводческих помещений»

Настоящей справкой подтверждается то, что результаты НИР по теме «Разработка конструкции и обоснование параметров электрического озонатора воздуха для животноводческих помещений» отличаются технической новизной (патенты RU 204184 U1 от 13.05.2021, RU 205379 U1 от 13.07.2021) и приняты к использованию в ООО «Биоритм».

Разработанный электрический озонатор воздуха предназначен для обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях с целью профилактики и ограничительных мер, направленных на предотвращение распространения заразных болезней животных.

Для практического использования приняты:

1. Конструктивная схема электрического озонатора воздуха, позволяющая повысить эффективность дезинфекции и дезинсекции воздуха в производственных животноводческих помещениях.

2. Рекомендации по составу конструктивных элементов электрического озонатора и функциональная схема работы электрического озонатора, а также алгоритм управления системой озонирования животноводческих помещений.

3. Рекомендации по использовании системы озонирования в коровнике на 100 голов путем интегрирования ее в систему кондиционирования помещения и структурная технологическая схема системы озонирования животноводческих помещений.

Директор ООО «Биоритм»


_____ Р.А. Горбачев

Заведующий кафедрой «Электрооборудования и электротехнологии в АПК»
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, д.т.н., профессор _____ С.В. Вендин

Преподаватель кафедры «Электрооборудования и электротехнологии в АПК»
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ _____ А.Н. Мануйленко

ЗОЛОТАЯ | 20
ОСЕНЬ | 21



Министерство
сельского хозяйства
Российской Федерации

XXIII ВСЕРОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

БЛАГОДАРНОСТЬ

НАГРАЖДАЕТСЯ

**ФГБОУ ВО Белгородский государственный аграрный университет
имени В.Я. Горина,
пос. Майский, Белгородская область**

*За разработку электрического озонатора
для обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях*

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ



ДИПЛОМ УЧАСТНИКА

КОНКУРСА AGROTECH INNOVATION BELGOROD 2021

МАНУЙЛЕНКО АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

БелГАУ им. Горина

Проект: Электрический озонатор воздуха для животноводческих помещений

Благодарим за участие и желаем успехов в реализации проекта!

С уважением,
руководитель оргкомитета конкурса
AgroTech Innovation 2021 -
директор по инновационному
развитию и цифровизации
ООО «ГК Агро-Белогорье»

С.С. Дмитриев





