

**МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАУЧНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖИНЕРОВ ИРРИГАЦИИ
И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

А.Г. БАБАЕВ, Ш.М. МУЗАФАРОВ

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ВОДЫ
ОЗОНОМ МЕТОДОМ
ЭЛЕКТРОДИСПЕРГИРОВАНИЯ**

/ МОНОГРАФИЯ /

**Ташкент
“Shafoat nur fayz”
2023**

УДК 628.16:621.359.7

ББК 38.761.1

Б 12

Бабаев А.Г. Технология обработки воды озоном методом электродиспергирования [Текст] / А.Г. Бабаев, Ш.М. Музафаров. - Ташкент: Shafolat nur fayz, 2023.-116 с.

В монографии рассмотрен принцип действия устройства обработки воды, процессы барьерного разряда с высоковольтным периодическим импульсным напряжением. Приводятся конструктивные исполнения, технические характеристики существующих генераторов озона и агрегаты питания высоким напряжением. Проведён анализ применения знакопеременных и периодических импульсных напряжений в процессах электросинтеза озона. Выявлены недостатки существующих генераторов озона и определены направления исследования по повышению эффективности процесса электросинтеза озона.

Данная монография создана на основе результатов научного исследования по теме диссертационной работы «Разработка технологии обработки воды озоном методом электродиспергирования» А.Г. Бабаева.

Рецензенты: **А.Х. Суллийев**, к.т.н., профессор Ташкентского государственного транспортного университета

Р.Т. Газиева, заведующий кафедры НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», профессор

Монография «Технология обработки воды озоном методом электродиспергирования» рекомендована к изданию решением Учённого Совета НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (протокол № 8 от 30 марта 2023 г.)

© **А.Г. Бабаев, Ш.М. Музафаров – 2023**

© **Издательство “Shafolat nur fayz” – 2023**

ВВЕДЕНИЕ

Качественная питьевая вода и санитария признаны основными правами человека, поскольку они необходимы для поддержания здорового образа жизни и имеют основополагающее значение для сохранения достоинства всех людей. На сегодняшний день мировой запас пресной воды составляет всего 2,5 % от общего количество воды в мире. И около 85 – 90 % всего запаса пресной воды состоит в виде льда. Согласно новому отчету всемирной организации ЮНИСЕФ и Всемирной организации здравоохранения, миллиарды людей во всем мире продолжают страдать от плохого доступа к воде, санитарии и гигиене. Около 2,2 миллиарда человек во всем мире не имеют безопасных служб питьевой воды, 4,2 миллиарда человек не имеют безопасных услуг санитарии и 3 миллиарда не имеют базовых средств для мытья рук [3].

Важнейшее значение приобретает организации и проведения научно – исследовательских работ в сфере обеспечения населения качественной питьевой водой, разработка новых эффективных методов и ресурсосберегаемых научно – технических решений по электротехнологическому обеззараживанию подземных вод и вод сточных каналов, а так же достижения экономии энергозатратов на конечной продукции в процессе водоподготовки питьевой воды.

В сфере обеспечения населения чистой питьевой водой, осуществляются широко масштабные мероприятия по созданию и внедрению эффективных и энергосберегающих технических средств для обеззараживания подземных, речных и сточных вод для водоподготовки питьевой воды. В стратегиях действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан 2017 – 2021 годах, в пункте 4.3 четвёртой части, намечено “ ... улучшение обеспечения населения сельской местности чистой питьевой водой путем строительства новых водопроводных линий, последовательного внедрения современных экономичных и эффективных технологий”. Для решения этих задач необходимо, разработать технологию обеззараживания воды, обеспечивающий высокую степень очистки и дезинфекции воды, в результате которого обеспечивается понижение инфекционных забалеваний, что является одной из важных задач.

За последнее десятилетие в результате изменения режима работы гидротехнических сооружений, расположенных в верховьях

рек с ирригационно-энергетического на энергетический режим эксплуатации, привело к ухудшению качества воды в водотоках. На качество воды в водных объектах также оказывают воздействие сбросы минерализованных коллекторно-дренажных вод и коммунальных стоков. Загрязнение поверхностных водоемов имеет широкое распространение и приводит к значительному загрязнению подземных вод, в том числе воды в скважинах. Загрязнение воды играет определяющую роль в росте уровня заболеваемости что приводит к росту уровня смертности, в.т.ч. и детской. Источниками загрязнения являются: орошаемое сельское хозяйство (78%), промышленность (18%) и муниципальный сектор (4%). Сельское хозяйство является основным загрязнителем поверхностных и подземных вод. Хотя промышленные отходы меньше в объеме, они более опасны и вредны из-за своего уровня токсичности. [80]

Современные способы очистки классифицируются на группы в соответствии с особенностями протекающих процессов. На основании существующих методов разрабатываются приспособления, обеспечивающие оптимальную водоподготовку. Нередко для достижения высокого качества воды существующие методы используются в комплексе. Очищающие установки, основанные на одном способе, как правило, применяются при условии наличия одного или нескольких типов загрязнений, удаление которых возможно посредством одного метода. Как правило, это распространенный подход при обработке сточных вод предприятий, когда состав загрязнителей уже определен. В целом способы очистки можно разделить на четыре группы по принципу их действия: физические; химические; физико-химические; биологические [81].

К физическим методам очистки относятся такие, при которых не происходит химических превращений в растворе, не добавляются новые реагенты. К таким методам относятся отстаивание твёрдых частиц, фильтрация раствора через пористые перегородки, воздействие на раствор различных излучений, электрических и магнитных полей [6].

Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать растворенные органические вещества сточных вод для питания в процессе жизнедеятельности. Часть органических веществ превращается в воду, диоксид

углерода, нитрит- и сульфатионы, часть идет на образование биомассы [7].

Физико-химические методы используют для удаления из сточных вод тонкодисперсных взвешенных и коллоидных частиц (коагуляция, флокуляция, флотация), растворимых газов (десорбция), минеральных диссоциированных в воде примесей (ионный обмен, обратный осмос, выпаривание, кристаллизация), органических растворенных веществ (адсорбция, ректификация, экстракция, ультрафильтрация, первапорация, эвапорация). Применение физико-химических методов позволяет достичь глубокой и стабильной степени очистки, рекуперировать различные вещества, удалить из сточных вод токсичные, биохимически неокисляемые органические загрязнения. Они применяются как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, химическими и биологическими методами и играют значительную роль при очистке производственных сточных вод, а также в водоподготовке.

В мире проводятся ряд приоритетных направлений исследований по повышению эффективности используемых озонных технологий и технических устройств для процесса обеззараживания воды методом озонирования. За последние пятнадцать лет наблюдается значительное расширение области применения озона и интенсивное развитие озонных технологий. Такому развитию озонной технологий способствует экологическая чистота озона, поскольку при его использовании не образуются вредные побочные продукты [22]. Образование предельных оксидов в процессе реакций отличает его от других известных окислителей. При этом остаточная концентрация озона разлагается на атомарный и молекулярный кислород как правило, эти продукты считаются не загрязняющие окружающую среду и не приводят к образованию канцерогенных веществ, например, как, при окислении хлором или фтором. Озон является одним из самых мощных окислителей, который используется для деградации органических загрязнений из питьевой или сточных вод. С момента своего открытия в конце XVIII века озон вызывает большой интерес специалистов различного профиля и исследователей благодаря своим уникальным свойствам, в первую очередь — высокой окислительной и дезинфицирующей способности. Реакции озона с ароматическими соединениями легли в основу

современных технологий дезодорации различных сред, помещений, питьевых и сточных вод.

В последнее время некоторые развитые страны, такие как США, Канада, Греция, Хорватия и Китай, применили биологический процесс для очистки чистой и безопасной питьевой воды, но в развивающихся странах было проведено очень мало исследований. Биологический процесс полностью зависит от непатогенных бактерий, действующих как биокатализатор для биохимического окисления, разрушения загрязнителей в загрязненной питьевой воде и производства биологически стабильной воды для предотвращения роста микроорганизмов в системе распределения воды. Это исследование направлено на всесторонний обзор технологии систем биологической очистки для производства безопасной питьевой воды [8].

На основании анализа электрофизические процессы в технологических разрядных промежутках при питании периодическими импульсами высокого напряжения, сформулирована рабочая гипотеза о повышении эффективности процесса синтеза озона при использовании напряжения периодических импульсов большой скважности. Проведён анализ переходных процессов в технологическом разрядном промежутке в паузе между импульсами напряжения и определены условия, стабилизации разрядного процесса по величинам токов. Исследованы энергетические показатели сунсоидального и импульсного напряжения и выявлены существенные преимущества импульсного напряжения по сравнению с синусоидального напряжения.

Определены параметры электродной системы «потенциальная плоскость с коронирующими иглами – заземленная плоскость» по току одиночной коронирующей иглы и по процесса улавливания водной аэрозоли из потока озono-воздушной смеси. Определены удельные параметры процесса улавливания частиц водной аэрозоли из потока озono-воздушной смеси при межэлектродных расстояниях 0,05 м.

ГЛАВА I. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ЭЛЕКТРОСИНТЕЗА ОЗОНА И ПРОБЛЕМ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

1.1. Функции сельскохозяйственного водоснабжения, его принципиальные схемы и системы

Первые каналы были построены в долине Евфрата в 3000 г. до н.э. выходцами из Средней Азии. Исторические записи показывают, что в 2500 году до нашей эры в Египте были вырыты колодцы глубиной до 90 метров для добычи подземных вод [32].

К 1917 году только 20% городов бывшего Советского Союза имели доступ к водопроводной воде. Расход воды не превышал 25-30 л / сут, в основном 12 л / сут. В настоящее время потребление воды в крупнейших городах (Москва, Ленинград, Ташкент) составляет 500-600 л / сутки [56].

XX век был переломным периодом в развитии систем водоснабжения. В этой области открыты специальные научно-исследовательские институты, университеты и факультеты. Однако усиление антропогенного воздействия на источники водоснабжения, особенно в последние 20-30 лет, усугубило ситуацию с водоснабжением в стране. В настоящее время ситуация с водоснабжением в сельском хозяйстве особенно плачевна. Только 52% сельского населения имеет доступ к безопасной питьевой воде. Конечно, для этого есть ряд причин, и мы обсудим их более подробно в следующих темах.

Правительство и президент республики прилагают все усилия, чтобы выйти из этой сложной ситуации. В частности, Указ Президента от 28 июня 1990 г. «О мерах по совершенствованию управления водными ресурсами республики узбекистан для повышения уровня обеспеченности населения питьевой водой и улучшения ее качества» [2]. Иностранные благотворительные организации также вносят свой вклад в решение этой проблемы.

Одним из важнейших вопросов улучшения водоснабжения в сельском хозяйстве является подготовка зрелых и высококвалифицированных специалистов в этой сфере, иначе все усилия будут неэффективными.

Объекты сельскохозяйственного водоснабжения. К объектам сельскохозяйственного водоснабжения относятся фермерские хозяйства, кишлаки, населенные пункты, тракторные и

автомобильные предприятия, животноводческие фермы, строительные площадки, перерабатывающие и другие предприятия [56].

Функции водоснабжения включают в себя все: от поиска источника воды до доставки ее потребителям в требуемом качестве и порядке.

Основные источники воды, используемые для водоснабжения, включают:

- а) источники подземных вод - подземные водотоки, подземные водные объекты, родники;
- б) источники поверхностных вод - реки, озера, каналы и водохранилища.

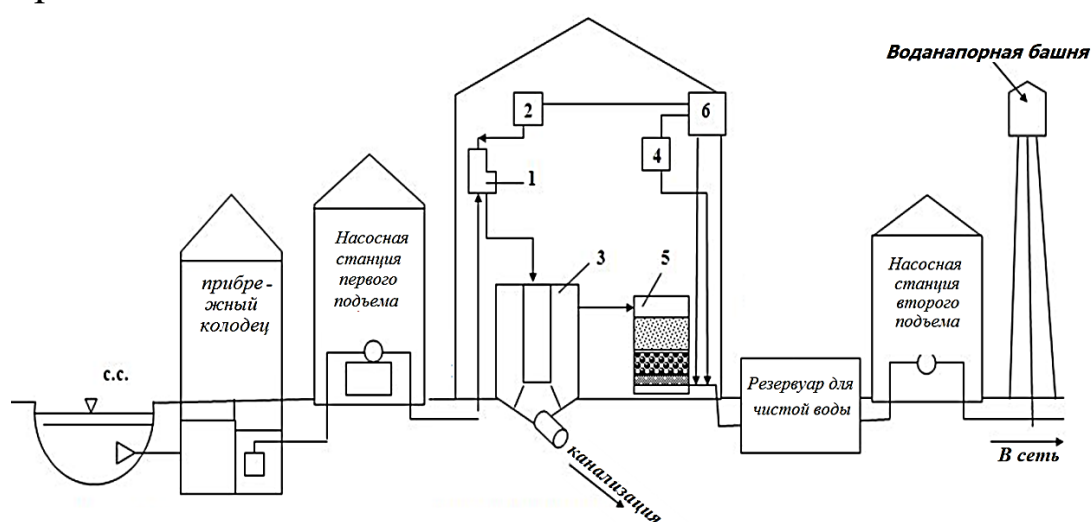


Рис. 1.1. Схема технологии добычи и очистки поверхностных вод

- 1 - смеситель; 2 – реагентное устройство ; 3 - вертикальный осадитель; 4 - устройство хлорирования; 5 - быстрый фильтр; 6 - резервуар для воды

Источники питьевой воды выбираются на основании технико-экономических обоснований по ГОСТРУз 17.1.3-03-77. В это же время использование водных ресурсов регулируется Законом о воде и водопользовании. Качественные грунтовые воды будут использоваться в основном для питьевых целей, а их использование для других целей будет ограничено. При отсутствии поверхностных вод, но при достаточном количестве грунтовых вод, их использование для производственных и ирригационных целей допускается только с разрешения специальных организаций.

1.2 Качество воды. Требования к качеству питьевой воды

Качество воды, используемой для питьевых, хозяйственных и технических целей, зависит от содержания в воде различных растворимых и нерастворимых минералов и органических веществ и определяется показателем (набором) физических, химических, бактериологических и биологических свойств воды.

Требования к качеству питьевой воды. Государственный стандарт Узбекистана «Питьевая вода. Гигиенические требования и контроль качества» основан на требованиях ГОСТРУз 950: 2000. Требования к качеству воды, используемой на промышленных предприятиях, ограничиваются различными отраслевыми стандартами и техническими условиями [6].

Чистая питьевая вода должна быть прозрачной, бесцветной, без запаха, вкуса и без болезнетворных бактерий. Температура воды должна быть как можно более ровной в течение всего года. В частности, оптимальная температура для повышения продуктивности животноводства находится в пределах 7-12⁰С.

Хотя прозрачность воды зависит от содержащихся в ней плавающих веществ, ее цвет зависит от количества различных растворимых и нерастворимых веществ. Единицей измерения цвета является градус, который определяется путем сравнения эталона с цветной водой с помощью прибора, называемого платино-кобальтовой шкалой. Цвет питьевой воды не должен превышать 20 градусов. Запах воды зависит от количества в ней различных газов и органических веществ. Неприятный запах воды говорит о том, что она содержит соли и перегной, характерные для растительных остатков. Согласно ГОСТРУз 950: 2000 запах и вкус не должны превышать 2 (двух) баллов (<2 баллов) даже при нагревании питьевой воды с температурой 20 градусов цельсия до 60 градусов.

Наличие в воде минералов - солей кальция и магния - придает ей жесткость. жесткость измеряется в «мг-экв / л» или в градусах. Жесткость 1 градус соответствует 10 мг оксида кальция (СаО) или 14 мг оксида магния (MgO) в воде. чтобы преобразовать жесткость из градусов в «мг-экв / л», достаточно разделить количество в градусах на 2,804.

Степень жесткости природных вод характеризуется следующим образом.

1. Мягкость воды < 4 мг - экв/л

2. Средней жесткости Вода 4 - 8 мг - экв/л.
3. Жёсткость воды 8 – 12 мг – экв/л.
4. Повышенная жёсткость воды > 12 мг – экв/л.

Обычно жёсткость речных вод бываю невеликими (1 – 6 мг - экв/л). Но в связи с усилением антропогенного воздействия в последние годы жесткость речной воды резко возросла. Например, жесткость воды Амударьи в нижнем ее течении периодически достигает 16-18 мг-экв/л. Жесткость грунтовых вод обычно выше, чем у поверхностных вод. Жесткость питьевой воды не должна превышать 7 мг-экв/л.

Твердая вода особенно непригодна для использования в системах оборотного водоснабжения, паровых котлах, производстве высококачественной целлюлозы и искусственного волокна.

Прозрачность. Плавающие вещества в воде можно определить по следующим группам:

- 1) несмешанные вещества;
- 2) коллоидные;
- 3) растворимые.

Природная мутность воды может быть нерастворимой и коллоидной, неорганической (грязь, песок и др.) и органической (грязь, микроорганизмы) [89]. Мутность характерна для поверхностных вод. Мутность речной воды достигает нескольких тысяч мг / л. Реки Средней Азии особенно мутные. Подземные воды более чистые, чем поверхностные.

Согласно УзДСт 950: 2000 количество нерастворимых веществ в питьевой воде не должно превышать 1,5 мг / л. Прозрачность воды измеряется мутномером, который теперь называется нефелометром. Прозрачность воды также можно определить с помощью специального стеклянного цилиндра высотой 30-50 см с плоским дном. Если текст, помещенный на 5 см над цилиндром, виден через 30-сантиметровый столб воды в цилиндре, образец считается прозрачным. Высота водяного столба измеряется в сантиметрах, что определяет прозрачность воды.

Минерализация воды. Сухой остаток - это общее количество всех нерастворимых в воде веществ. Чтобы определить это, образец воды кипятят и упаривают, а затем сушат при 105 ° С. Вес веществ, оставшихся в емкости, определяет общую минерализацию воды.

Обычно количество густых и сухих остатков в природных водах с низкой мутностью очень близко, потому что такие воды содержат относительно мало несмешанных и органических веществ. Сухой остаток в питьевой воде не должен превышать 1000 мг/л.

В зависимости от степени минерализации природных вод они бывают:

1. Пресная вода - 200-500 мг / л.
2. Умеренно минерализованная вода - 500-1000 мг / л.
3. Средняя вода - 1000-3000 мг / л.
4. Соленая вода - 3000-10000 мг / л.
5. Высокоминерализованная вода - 10000-35000 мг / л.
6. Вода близкая к рассолу - 35000-50000 мг / л.
7. Рассол - можно разделить на 50000-400000 мг / л.

Прочие индикаторы.

Водорастворимые соли железа должны быть в пределах 0,2-0,3 мг / л. Слишком большое количество этой соли вызывает образование оксида железа под действием кислорода воздуха [90].

Бактериальное заражение. Присутствие в воде органических веществ, характерных для отходов животноводства, опасно, так как они образуют соли аммиака и азотную кислоту. Одновременное присутствие этих веществ в воде с органическим хлором (до 300 мг / л минерального хлора безвредно) свидетельствует о загрязнении воды отходами животноводства. В этом случае необходимо обработать воду хлором, так как это могут быть бактерии, вызывающие опасные заболевания [91].

Бактериальное заражение воды характеризуется наличием в ней бактерий. Согласно ГОСТРУз 950: 2000 в 1 литре питьевой воды может быть не более 100 бактерий. Опасно присутствие в воде бактерий и микробов, особенно из группы «кишечная палочка». Бактериологический анализ определяет количество бактерий, присутствующих в 1 литре воды (коли-индекс). Или определите объем воды, соответствующий 1 кишечной палочке (коли-титр). Согласно ГОСТРУз 950: 2000, питьевая вода, подаваемая в водопроводную сеть, не должна содержать более 3-х коли-индексов на литр.

Пригодность воды из разных источников определяется физическим, химическим и бактериологическим анализом. Заключение о пригодности воды выдается органами санитарного контроля [6].

Качество водопроводной воды определяется ГОСТРУз 950: 2000. Методика его контроля осуществляется по ГОСТРУз 24481-80, ГОСТРУз18963-73 [8]. Отбор проб воды производится следующим образом. Пробы воды из поверхностного источника будут отбираться на строительной площадке на 0,5-1,5 м ниже уровня воды, а пробы подземных вод - не позднее, чем через 15-20 минут после начала дренажа. Проба отбирается в бутылку емкостью 2–3 литра.

Отобранный на бактериологический анализ образец необходимо доставить в лабораторию не позднее 4-5 часов.

1.3. Свойства озона и области применения

В последнее время значительно расширилась область использования озона, вместе с тем наблюдается интенсивное развитие исследований и технологии с применением озона. Экологическая чистота озона способствует развитию технологий с его применением, поскольку при его использовании не образуются вредные побочные продукты [79].

Озон (O_3) — аллотропная модификация кислорода который при нормальных условиях представляет собой газообразное бесцветное вещество, обладающее резким запахом. Озон является одним из самых мощных окислителей, который используется для деградации органических загрязнений из питьевой или сточных вод [65].

Существует множество методов генерации озона, включая электрический барьерный разряд, ультрафиолетовое излучение, термические, химические, электролитические и хемо ядерные методы [17].

Бактерицидные свойства озона были также продемонстрированы в случае грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов (*Yersinia enterocolitica*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*); как в спорах, так и в вегетативных клетках [11].

На сегодняшний день предпочтение применения озона в процессах очистки и дезинфекции воды общепризнанны.

Озонирование - эффективная альтернатива очистке сточных вод, содержащих металлы в составе органических комплексов. Озон - нестабильный газ; поэтому его генерация должна производиться на месте. Коммерчески доступная технология

генерации озона основана на процессе коронного разряда, который включает применение высоковольтного разряда в охлажденной высушенной газовой фазе, содержащей кислород (O_2 или воздух) [55; 14].

Применение хлоросодержащих химических элементов вызывает необходимость их перевозки, хранения и приготовления химических растворов. Озон можно получать непосредственно на месте проведения дезинфекции [76].

В развитых странах применением озона пользуются во многих отраслях хозяйства, в быту, коммунальном хозяйстве, сельском хозяйстве, при дезинфекции сточных вод, ветеринарии, пищевой и молочной промышленности, при хранении плодоовощной и мясной продукции. [10; 15; 16; 18; 27; 20; 40; 34; 73].

Широким применением озонирования пользуются во время подготовки хранилища, а также при обработки перед захоронением и во время хранения сельхоз продукции, таких как овощи – и фруктов, и зерновых.

Применение озона в сельском хозяйстве началось с того что стали его применять как стерилизующее средство складских помещений. Способ стерилизации заключался заполнением помещения с достаточным количеством озоноздушной смеси для уничтожения патогенных микроорганизмов.

Приводятся результаты исследований, после обработки складских помещений озоном. Обработка концентрацией 2 - 35 мг O_3/m^3 в течение времени 60 - 240 минут привело к полному обеззараживанию. Способность озона уничтожает разнообразные микроорганизмы, а также бактерии и споры грибов. Тем самым эффективно увеличивает срок хранения в зернохранилищах и в овощи - и фруктохранилищах. Кроме того разрушение этилена озоном задерживает их созревание. [37; 66;].

Хранение плодоовощной продукции. В одном из трудов установлено, что при озонировании с концентрацией 15...18 мг/ m^3 в течение 10 часов, полностью останавливает рост гриба *Phytoftora infestans* [38; 66].

Понижение интенсивности дыхания, сохранении качества, а также замедление созревания и снижение потерь от гниения, позволяет использование процесса озонирования при холодильном хранении, за счёт окисления летучих продуктов обмена веществ и этилена. При этом надо иметь в виду, что отдельные сорта фруктов

и овощей имеют различную чувствительность к озону. Так, по мнению специалистов из зарубежья, яблоки сортов Делишес и Голден при концентрации озона $C = 2...3 \text{ мг/м}^3$ хорошо сохраняются, а по результатам Бергера и Ханзена при концентрации $C = 10...12 \text{ мг/м}^3$ [66;].

Обработка зерна. Озон, считается активным дезинфектантом, его можно применять для увеличения срока хранения зерна.

По результатам исследований стало известно что, что использование озono-воздушной смеси в процессах обработки зерна и семян после уборки позволяет:

- увеличить срок хранения семян и зерна по сравнению с вентилированием наружным воздухом и тем самым остановить порчу и потери зернового материала;
- повысить качество зернового и семенного материала;
- освобождение зерновой массы озono-воздушной смесью от вредителей и насекомых, отпугивает птиц и грызунов;
- рекомендуется дополнительно вентилирование озonoвоздушной смесью с концентрацией $15...20 \text{ мг/м}^3$, что на 15.20 % увеличивает срок хранения [80].

Ветпрофилактика заболеваний животных и птиц озоном. В трудах Шарыгина И.В. приводятся результаты исследований проведённые с больными телятами катаральной бронхопневмонией, воздействием озонотерапии и облучения ультрафиолетом облучённой аутокрови на иммунобиохимических показателей [82].

Озонирование мясных и рыбных продуктов. Озон также применителен при хранении охлаждённого мяса и рыбы методом озонирования, наиболее оптимальные параметры находятся в пределах 15 мг/м^3 при экспозиции 2...3 часа в сутки.

Приложения более высоких доз озона вызывает обесцвечивание мяса [83].

Таблица 1.1

**Результаты экспериментальных исследований
обработки озоном различных объектов**

№	Название объектов	Время обработки ч/с	Концентрация озона О₃ мг/м³
Помещения			
1	Жилые и общественные заведения	2-4	10-15
2	Овощехранилища	2-4	5-10
3	Флодоовошная продукция и зерновые		
4	кортотель	3-6	10-15
5	морковь	6	10-15, 50-60, 110-120
6	яблоко	3	10-12
7	зерновые	2	15-100
Ветеринария			
8	Ветпрафилактика		10
Мясная продукция			
9	Мясные и рыбные продукты	2-3	2,5 – 3,9; 10-11 г/м ³
10	Пишешвые яйца	3	3 - 6
Вредители			
11	Вредители	3 - 4	4 – 12

Энергетическая эффективность процессов электросинтеза озона составляет не более 1-2%. Из важнейших задач производства озона на сегодня является понижения энергетических затрат на его синтезирование.

Всякий раз за счёт не повторения обстоновок практический доводится иметь дело с новой формой электрического разряда, вследствие чего просто исползуются кое какие обобщения [79].

Наиболее важные физико-химические свойства озона приведены в таблице. 1.2. При составлении таблицы исползовались самые свежие литературные данные. В последующих исследованиях для анализа содержания жидкого озона исползовался чувствительный метод, основанный на резком различии магнитных свойств жидкого озона и жидкого кислорода [79; 81; 54].

Таблица 1.2.

Физико-химические свойства озона

Показатель	Значение
Молекулярный вес	48
Температура кипения при 760 мм.рт.ст., °С	-111.9±0,3
Температура плавления при 760 мм.рт.ст. °С	-192.5±0,4
Критическая температура, °С	-12.1±0,1
Критическое давление, атм	54.6
Критическая плотность, г/см ³	0.437
Критический объем, л/моль	0.147
Плотность газа при 0 °С, г/л	2.144
Теплоемкость газа С, кал/моль·град	
газ, при 200 °К	8,497
при 298 °К	9,406
при 350 °К	9,555
жидкость при при -176,6 °С	20,836
Стандартная теплота образования, ΔН ₂₉₈	34.0
Стандартная свободная энергия ΔG ⁰ , ккал/моль	39.06
Стандартная энтропия, S ⁰ ₂₉₈ , кал/моль·град	57.1±1.0
Теплота растворения, ккал/моль в воде:	
при 18 °С	3.4
при 0 °С	5.9
Дипольный момент μ (¹⁶ O ₃) в дебаях, D	0.58±0.05
Диэлектрическая постоянная:	
газа при 0 °С и 1 атм	1,0019
жидкости при -183 °С	4.75
Показатель преломления:	
газ для λ = 430	1.0533
λ = 546 [16]	1.0520
λ = 671	1.0502
жидкость для λ = 535	1.2236
λ = 589	1.2226
(линия натрия) λ = 670,5	1.2213
Нормальный электронный потенциал, E°:	
в кислой среде O ₂ (газ)+ H ₂ O→O ₃ (газ)+2H ⁺ +2e	2.07
в щелочной среде O ₂ (газ)+ 2OH ⁻ →O ₃ +H ₂ O+2e	1.24
Ионизационный потенциал, эВ 12,8-13,5	12.8-13.5

1.4. Конструкции озонаторов

Первый озонатор был создан в 1857. Автором изобретения является Вернер фон Сименс. На сегодняшний день принцип устройства и принцип работы остаётся прежним. Принцип работы генератора озона состоит в том что, в нём находятся несколько слоёв диэлектрических материалов, которых обычно называют барьером, который является, стабилизатором разрядного тока за счёт чего происходит, разряд равномерного характера. За счёт существования диэлектрического барьера, генератор озона питается переменным электрическим током [92].

В виде диэлектрического материала в генераторах озона обычно применяется силикатное стекло. Количество диэлектрического барьера генераторов озонатора можно распределить на два типа: некоторые озонаторы имеют два барьера исполненных из цельного силикатного стекла где, между двумя диэлектрических барьеров происходит разряд; у других же озонаторов существует один диэлектрический барьер.

В качестве второго электрода в озонаторе используют металлические материалы, такие как алюминий, нержавеющая сталь где, между диэлектрической и металлической плоскости происходит разряд. Иногда диэлектрический барьер устанавливают между двумя электродами, то есть в середине разрядного промежутка [81].

Форма установленных электродов определяют тип генератора озона. Если у генератора озона электрод плоской формы то его называют пластинчатым озонатором, а если форма электрода цилиндрический, то его называют трубчатым озонатором. В принципе формы электродов особо роли не играют хотя, в первом случае возможны проявления некоторых краевых эффектов.

В промышленных целях обычно используют и широко применяются трубчатые генераторы озона, состоящих из пакетов электродов цилиндрической формы, установленных в общем корпусе в форме цилиндра.

Цилиндры из нержавеющей стали, которые омываются охлаждающей водой, являются электродами низкого напряжения. Внутри каждого из них устанавливается трубка из силикатного стекла меньшего диаметра с нанесённым на поверхности этих трубок проводящий слой алюминия или графита. Во время

продувания кислорода и воздуха через промежуток разряда созданный между диэлектриком и металлическим электродом который находится под высоким напряжением (8 – 20 кВ) возникает разряд за счёт чего и образуется озоновый газ.

В некоторых, а особенно в патентной литературе встречаются описания конструкции других видов озонаторов. В патентной литературе предлагались такие генераторы озона как: с электродами шероховатой поверхностью, с металлическими вращающимися электродами. Но эти генераторы озона в практике не нашли своего применения [59].

Особое значение имеет охлаждение генераторов озона. За счёт нагрева электродов генератора озона во время работы, генераторы являются малоэффективными, что обуславливает их обеспечением охлаждения водой.

Но всё же такие озонаторы за счёт простоты исполнения конструкции находят широкое применение. Удобны и надёжны в работе озонаторы, разработанные в лаборатории катализа и газовой электрохимии МГУ. Генератор озона, исполненный из цельного стекла который представляет из себя две распложенных стеклянных трубок коаксиально, в между (разрядный промежуток) которых происходит разряд. Наружная трубка (электрод) имеет специальную оболочку для водяного охлаждения. Внутренняя трубка тоже охлаждается холодным потоком воды, только изнутри. Так как вода считается хорошим проводником электрического тока, трубки не имеют специальных обкладок из метала. По медным проволокам к озонатору подводят электрический ток, которые введены во внутреннюю трубку и охлаждающую оболочку наружного электрода.

Для данной конструкции озонатора, охлаждение электродов поточным методом является существенным преимуществом, за счёт чего и обеспечивается его устойчивая и надёжная работа. Через специальных трубок в виде спирали поступает вода, которая находится под напряжением в целях охлаждения внутреннего электрода. Препятствуя утечку электрического тока через воду охлаждения озонатора, спирали создают сопротивление.

Если считать лабораторных генераторов озона выполненных из стекла достаточно надёжными и удобными, то нельзя сказать об этом про промышленных генераторов озона со стеклянными диэлектриками.

Промышленные генераторы озона, в которых в качестве диэлектрика используется стекло, считаются сложными либо несовершенными, так как стекло является плохим конструктивным материалом. Генераторы озона низкой частоты со стеклянными диэлектриками очень объёмные и для своего изготовления требуют большого расхода цветных металлов, таких как нержавеющая сталь, алюминия, латуни.

Расход этих материалов можно характеризовать весом озонатора, отнесенным к его производительности. В лучших образцах низкочастотных озонаторов их вес достигает 500 кг на 7 кг озона в час. Эти недостатки можно устранить, применяя в качестве диэлектрика вместо стекла другие материалы.

В качестве диэлектрика были предложены пластмассы. Множество видов пластмасс владеют неплохой электрической прочностью и химической стойкостью, в то же время имеют отличные конструктивные характеристики, в частности, подвергаются многим видам технологической обработки. В качестве примера был изготовлен и испытан озонатор из винипласта. Изучение работы озонатора показало, что он не уступает по эффективности лучшим цельностеклянным образцам. Энергетический выход озона при низких концентрациях достигал 200 г/кв.ч. К сожалению, при работе на повышенных частотах озонаторы из винипласта оказались недостаточно надежны.

Указания на возможность использования винипласта для изготовления озонаторов имеется также и в зарубежной патентной литературе.

Очень перспективным оказалось применение в озонаторах стеклоэмалей. Вопрос о их применении в качестве диэлектрического барьера в озонаторах в основном освещен в патентной литературе. В озонаторах Э. Хакенджойса [13], предназначенном для синтеза озона при высоком давлении, наряду со стеклом, кварцем и керамикой в качестве диэлектрика предлагается использовать эмаль. Особое внимание исследованию и применению эмалей в озонаторах начали уделять в последние 10 – 15 лет.

Система озонаторных комплексов работающие на основе барьерного разряда считаются основными промышленными источниками озона. Во многих производственных отраслях озонные технологии апробированы. Вплоть до настоящего времени

использования озонной технологий очень мало, и в отдельных случаях его используют не эффективно. Причины этому, ненадёжность и сложность генераторов озона, а также их низкий ресурс [34]. За счёт совмещённого воздействия вышеупомянутых факторов диэлектрический барьер выходит из строя в итоге чего происходит замыкание электродов в камере генератора озона. От части использования новейших материалов (керамика, стеклоэмаль и т.д.) [72] в виде барьера позволил повысить надёжность и ресурс озонаторных устройств но вопрос остаётся до конца не решённым. Что бы увеличить срок службы предлагают разные варианты. Обойтись вообще без барьера, является одним из радикальных решений [69].

Известен другой ряд генераторов озона без барьера, где используется коронный разряд. Но, концентрация озона также не более 2 г/м^3 . Связана это с низким напряженем электрического поля относительно с барьерным разрядом [39; 50; 51].

Косательно литературных источников, то данные на счёт импульсных источников питания практически не существуют. Существует принципиальная схема, которая приведена в труде [39]. Устройство состоит из импульсного трансформатора, тиристорного генератора импульсов, ударной ёмкости и многозачерный искровой разрядник который исполняет роль обострителя. Частота импульсов в секунду выше двух тысяч, а амплитуда доходит до 100 кВ.

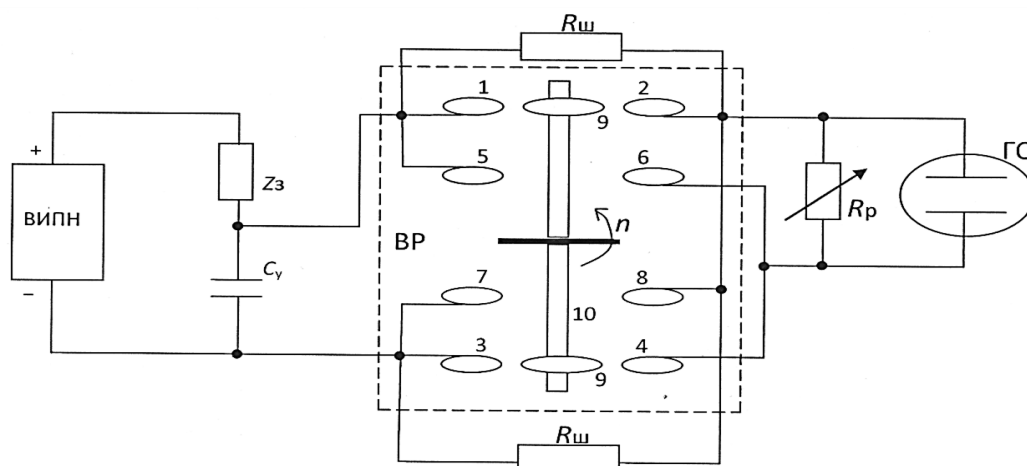


Рис. 1.2. Электрическая принципиальная

схема импульсного высоковольтного источника:

ИВПН – источник высоковольтного постоянного напряжения,

C_y – ударная ёмкость, $Z_з$ – импеданс заряда, BP – разрядник

вращающийся, R_p – сопротивление, $R_{ш}$ – сопротивление

шунтирующее, $ГО$ – генератор озона безбарьерный.

Трудности, связанные с изготовлением генератора импульсного напряжения и нестабильность усугубления многоазорными разрядниками привели к более надёжному и стабильному источнику. На рисунке 1.2 приведена электрическая принципиальная схема предлагаемого устройства [68].

Вращающийся разрядник выбран в качестве коммутатора. По сравнению с простыми разрядниками у вращающегося разрядника быстро восстанавливается электрическая надёжность разрядных промежутков и владеет зоной стабильного срабатывания.

На рисунке 1.3 приведены основные конструктивные схемы расположений электродов с диэлектрическими слоями генераторов озона с барьерным разрядом. По конструктивным формам электродов озонатора определяется его тип, трубчатый или пластинчатый [79]. Одним из самых используемых генераторов на сегодняшний день считаются трубчатые.

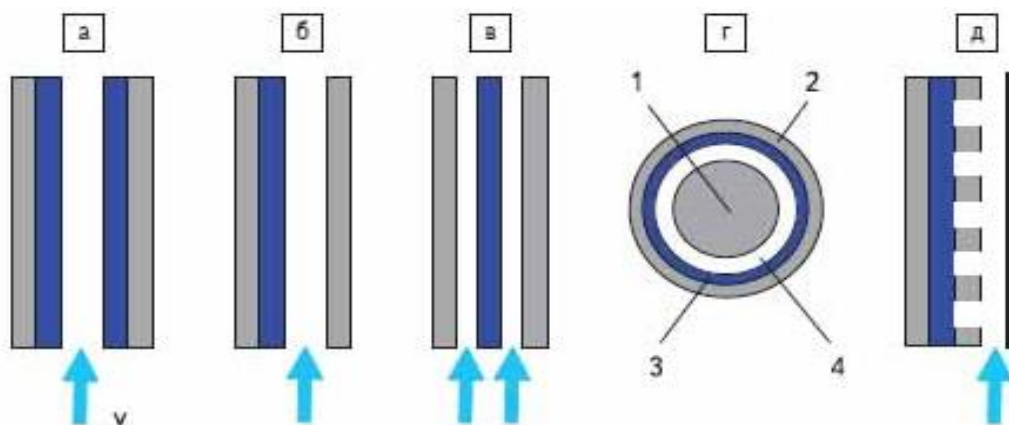


Рис. 1.3. Конструктивные схемы генераторов озона барьерного разряда

Изобретателями первого генератора озона являются немецкий учёный Е. Сименс (E.Simens, 1857 г.) и австрийский учёный Н. Тесла (N. Tesla, 1896 г.). Е. Сименсом в 1897 году была разработана конструкция, вложенные идеи в которую предвосхитили последующие, которые были осуществлены при попытках модернизации генераторов озона с барьерным разрядом вплоть до наших дней.

Именно на основе такой конструкции озонаторов (трубчатый) применяют зарубежные и отечественные производители такие как (Ozonia, Trailigaz, Degremont, Osmonics, Fuji, «Курганхиммаш», «Озонит») точно такую же конструкцию имеют [93; 94].

Осуществлён сложный вариант, одностороннее охлаждение диэлектрического слоя в озонаторе фирмы “Osmonics” совместно с фирмой “Fuji”. В конструкции озонатора, технология которого запатентованна со стороны фирмы “Micro-Gar”, внутренняя сторона охлаждаемой металлической трубки покрыта слоем диэлектрика [88]. Данная технология позволяет нанесения очень тонкого свинцового стеклянного слоя, где промежуток разряда составляет 0,3 мм с строгой выдержкой на длине 1 м. Металлическая тонкостенная труба, которая считается внутренним электродом, находится под высоковольтным напряжением и охлаждается проточной водой.

Технология фирмы «Micro-Gar» не позволяет появления горячих пятен, на диэлектрическом материале, что является причиной понижения температуры газа. Конструкции озонаторов «Osmonics» позволяют производить высокие концентрации озона. В случае пробоя диэлектрика, для того что бы заменить металлическую трубу, необходимо сливать всю воду из озонатора. Оправдывается это теплоотводом - на 10 - 12 % , за счёт выделения основной части тепла в барьерном разряде, около диэлектрического электрода [53].

1.5. Источники питания генераторов озона

Исследования по повышению эффективности процесса электросинтеза озона за счет использования различных видов периодических и импульсных напряжений приведены в работах [77; 57; 81]. К недостаткам этих исследований относится тот факт, что преобразование напряжения производится на высоком напряжении, что значительно усложняет схемы при значительном увеличении габаритов устройств. Следует отметить также отсутствие надежных поупроводниковых преобразователей, а использование вакуумных ламп резко снижает сроки эксплуатации (зачастую не превышающей 500 часов).

Недостатками этих устройств также являются:

- диапазон скорости нарастания отрицательной части импульса не обоснован и не может колебаться в таком диапазоне;
- по описанию не ясно, что из себя представляет генератор импульсов и не приведена форма импульсов на его выходе;
- стабильность барьерного разряда не может быть достигнута при частоте 1,5 Гц.

Не смотря на многочисленность патентов на изобретения, они не нашли широкого промышленного использования. Для электросинтеза озона в промышленных масштабах в основном используются синусоидальные напряжения частотой порядка 50 Гц и высокочастотные озонаторы частотой 1000 Гц и выше. Эти устройства было принято в качестве прототипа [81].

В этих процессах электросинтез озона существенно зависит от напряженности электрического поля в технологическом разрядном промежутке и на практике для повышения напряженности электрического поля выше пробивного порога обрабатываемого газа используется барьер или так называемый барьерный разряд. Но это обстоятельство приводит к нагреву диэлектрического барьера и необходимости его охлаждения. Жестко ставятся требования к температуре и влажности обрабатываемого газа. Поэтому в существующих технологиях электросинтеза озона используются технологии подготовки газа перед обработкой, которая предусматривает охлаждение и осушение газа. К.п.д. существующих устройств электросинтеза озона не превышает 2 %. Барьерный разряд, как и все виды самостоятельных разрядов в газах, отличаются нестабильностью тока разряда по частоте и амплитуде. Попытки автоматического регулирования тока разряда в генераторах озона не дали желаемых результатов и в настоящее время не используется.

1.6. Существующая технология обработки питьевой воды озоном

Существующая технология обработки питьевой воды озоном включает в себя следующие элементы (рис.1.4): фильтр для очистки воздуха 1; компрессор 2 для подачи воздуха в генератор озона 5; Процесс электросинтеза озона существенно зависит от температуры воздуха, поэтому перед подачей воздуха в ГО производят его охлаждение в холодильнике 3.

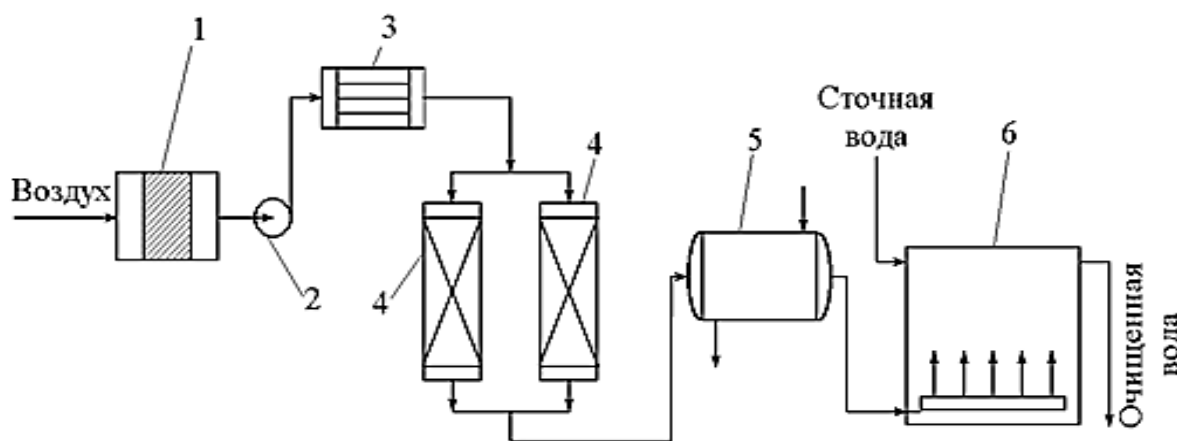


Рис. 1.4. Существующая технология обработки питьевой воды озоном

- 1 – фильтр воздуха; 2 – компрессор для воздухадувки;
 3 – устройство охлаждения; 4 – устройство для осушки воздуха;
 5 – озонатор; 6 – камера барбатирования (контактная).

Ввиду того, что охлаждение воздуха приводит к конденсации водяных паров, необходимо сушка в осушителе 4. Подготовленный воздух подается в генератор озона ГО.

Озоносодержащий воздух подается в контактную камеру 8 наполненной водой подлежащей обработке, где происходит его барботирование.

Генератор озона питается синусоидальным напряжением от повышающего трансформатора ИВН, Ввиду того, что при использовании синусоидальных напряжений происходит нагревание диэлектрических барьеров ГО, то для их охлаждения в ГО подается охлаждающая вода. Существующая технология периодического действия. Вода в контактной камере после обработки удаляется, затем заполняется новой порцией воды, подлежащей обработке.

Как показал анализ существующих разработок и исследований в области электросинтеза озона, источников их питания и технологического применения для обеззараживания питьевой воды были сформулировать следующие задачи исследований:

разработать способ повышения энергетической эффективности процесса электросинтеза озона с использованием газоразрядной низкотемпературной плазмы;

теоретически и экспериментально обосновать возможность повышения энергетической эффективности процесса электросинтеза озона с использованием периодических импульсов высокого напряжения;

экспериментально исследовать характеристики барьерного разряда при питании периодическими импульсами высокого напряжения;

разработать устройство для генерирования периодических импульсов высокого напряжения для процессов электросинтеза озона;

разработать технологическую схему непрерывной обработки питьевой воды методом диспергирования и определить параметры обработки;

определить параметры электродной системы сепаратора аэрозоля;

разработать и исследовать характеристики электростатического распылителя водной аэрозоли;

провести лабораторные и производственные испытания нового способа обработки питьевой воды озоном;

разработать схему питания установки высокими периодическими и униполярными и биполярными импульсами высокого напряжения;

оценить энергетическую и экологическую эффективность разработанной системы электрофильтров.

ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОСИНТЕЗА ОЗОНА ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ

В главе теоретически обосновывается способ повышения эффективности процесса электросинтеза озона использованием периодических импульсов напряжения. определены факторы влияющие на электросинтез озона и формулы их взаимосвязи. На основании сформулированной гипотезы о возможности стабилизации разрядных процессов В разрядных газовых промежутках, в которых протекают самостоятельные разряды, образуются объемные заряды. Количество которых является достаточным, для препятствования росту тока с увеличением напряжения одновременно. Для процесса происходящем при приложении импульса напряжения а также для процессов происходящих в паузе между импульсами электрофизический механизм рассматривается отдельно. Проведён анализ процесса электросинтеза озона при питании периодическими импульсами высокого напряжения. На основании проведённого анализа выявлено, что периодические импульсы высокого напряжения должны иметь скважность более 5, для обеспечения достаточного времени для рекомбинации объемных зарядов в разрядном промежутке. Также выявлено, что к.п.д. генераторов озона при питании синусоидальным напряжением составляет 1...2 %. Остальная часть энергии преобразуется в тепло, для отвода которого электроды охлаждаются проточной водой.

2.1. Анализ процесса электросинтеза озона при питании синусоидальным высоким напряжением

В существующих устройствах электросинтеза озона преимущественно применяются высокие синусоидальные напряжения частотой 500 Гц.

Энергетический КПД реализованных технологических процессов электросинтеза является не превышает 1–2%. Большая часть энергии превращается в тепло, которое приводит к чрезмерному нагреву диэлектрических барьеров и необходимости их охлаждения.

Процесс электросинтеза озона при питании синусоидальным напряжением представлен на рис. 2.1. Ввиду питания ёмкостной нагрузкой, ток опережает напряжение на 90 электрических градусов. В разрядных газовых промежутках, в которых протекают самостоятельные разряды, образуются объемные заряды (ионы). Количество этих зарядов оказывается достаточным, чтобы препятствовать росту тока одновременно с увеличением напряжения встречной полуволны напряжения. Поэтому в точках 1-2 наблюдается незначительное увеличение тока. Нейтрализация объемных зарядов заканчивается в точке 2, затем наблюдается скачкообразное увеличение тока разряда. Это соответствует точке 3 на кривой напряжения.

Процесс электросинтеза озона осуществляется в точках 3,4,5 кривой напряжения. Отсюда низкий К.П.Д. генераторов озона, питающихся синусоидальным напряжением. Повысит производительность этих устройств повышением напряжения невозможно, по причине их работы на предпробивных напряжениях U_{np} . На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что генераторы озона, питаемые синусоидальным напряжением доведены до предела своих возможностей.

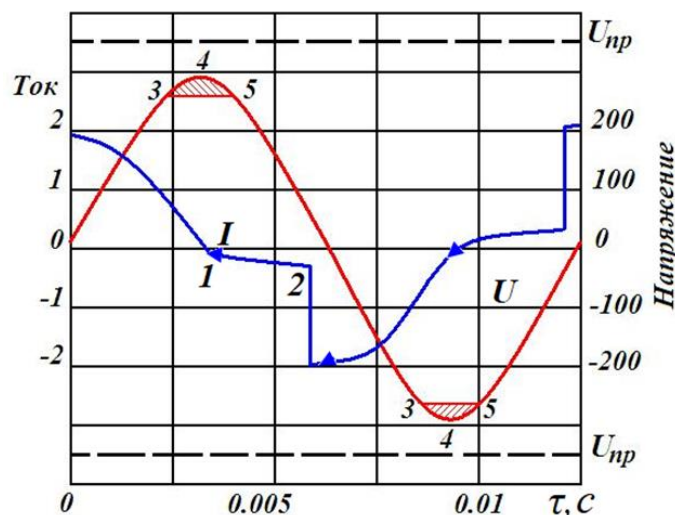


Рис. 2.1. Усреднённые кривые мгновенного напряжения и тока через генератор озона

Следует также отметить, что самостоятельные разряды отличаются нестабильностью по амплитуде разрядного тока, соответственно время нейтрализации объемных зарядов будет

занимать различное время. Отсюда нестабильность процесса электросинтеза озона. Отсюда и гипотеза: повысить эффективность процесса синтеза озона можно при использовании иных видов напряжения, например периодических импульсов большой скважности.

2.2. Анализ процесса электросинтеза озона при питании периодическими импульсами высокого напряжения

Одним из малозатратных путей повышения эффективности устройств электронно-ионной технологии является применение импульсной модуляции электропитания. В настоящее время имеется продолжительный опыт эксплуатации импульсных микросекундных источников питания на крупных энергоблоках, например в Дании и Японии.

Большой объем научно-исследовательских работ по разработке высоковольтных устройств газоочистки с использованием электронно-лучевых вентилях и газоразрядных приборов был проведен в Федеральном государственном предприятии «Всероссийский электротехнический институт» [45; 67; 71; 84; 85; 86], но они не доведены до логического завершения. В этих работах формирование импульсов высокого напряжения осуществляется на высокой стороне с использованием емкостных накопителей энергии. Работа этих устройств определяется электрическими свойствами разрядных промежутков. Используются импульсные напряжения частотой 20...40 кГц. Схемы генерирования отличаются сложностью и пр.

Разработка нового способа электросинтеза озона обусловлено недостатками существующих устройств. Как уже неоднократно указывалось [61; 75] импульсы разрядных токов самостоятельных разрядов хаотично распределены во времени, реализация которого по амплитуде и частоте случайна. В барьерном разряде, как и в электрических разрядах всех видов, имеют место одновременно происходящие различные элементарные процессы: возникновение, движение и уничтожение заряженных частиц. Количественно вывести свойства разрядов на основании законов удается пока только в некоторых случаях и то лишь при условии введения существенных допущений. Это происходит вследствие математических затруднений, возникающих при комбинировании различных закономерностей. Такие

виды разрядов принято называть самостоятельными. Перечисленные свойства барьерного разряда переменного напряжения приводят к нестабильности разрядных токов по амплитуде, к запиранию разряда, перехода в искровую или дуговую формы. Очевидно, что при обеспечении стабильности разрядных процессов можно повысить эффективность электросинтеза озона.

Специфика электрических полей барьерного является наличие потока объемных зарядов в разрядном промежутке. Электрическое поле создаваемая этими зарядами направлено встречно основному электрическому полю:

$$E(x) = E_0(x) + \Delta x, \quad (2.1)$$

где: $E(x)$ – истинная напряженность электрического поля;

$E_0(x)$ – напряженность основного поля;

Δx – напряженность поля создаваемая объемными зарядами.

Величина Δx определяется на основании законов электростатики:

$$\Delta x = 4\pi q_t \{ [ex\rho x / (ex\rho ad - 1)] - 1/ad \}, \quad (2.2)$$

где: q_t - зависящее от времени общее количество положительных ионов, приходящихся на единицу поверхности каждого из электродов разрядного промежутка.

Напряжение на электродах также изменяется на величину:

$$\Delta U = \int_0^d \Delta x \cdot dx \quad (2.3)$$

Так как $E(x)$ зависит от расстояния, α также зависит от расстояния. Отметим это индексом x :

$$\alpha_x = A \exp[-Vp / (E_0(x) + \Delta x)] = A \exp\{-Vp / E_0(x) [1 / (1 + \Delta x / E_0(x))]\}, \quad (2.4)$$

где: A и B постоянные равные соответственно 14,5 и 365 для воздуха при области применения $E/p = 160 \dots 600$ В/см·мм.рт.ст.

После разложения в ряд до числа Δ/E_0 в квадрате, получим:

$$\alpha_x = \alpha_0 \{ 1 + (Vp\Delta / E_0^2) + [Vp\Delta^2 / E_0^4 (0,5Vp - E_0)] \} \quad (2.5)$$

Для сокращения через α_0 обозначим $\alpha = A \exp(-Vp/E_0)$. Соответственно этому общее число ионизирующих соударений первичного электрона в искажённом поле будет:

$$\int_0^d \alpha_0 \cdot dx = \alpha_0 d + \left(\frac{\alpha_0 B p \Delta U}{E_0^2} \right) + [\alpha_0 B p / E_0^4 (0,5 B p - E_0)] \cdot \int_0^d \Delta^2 dx \quad (2.6)$$

Интеграл в последнем члене во всех случаях положителен, так как Δ^2 всегда должно быть положительным. Таким образом последний член положителен, если $0,5 B p > E_0$, и наоборот. Если искажение поля произошло при постоянном напряжении на электродах ($\Delta U = 0$), тогда:

$$\int_0^d \alpha_x \cdot dx - \alpha_0 d > 0 \text{ для } E_0 / p < 0,5 B, \quad (2.7)$$

$$\int_0^d \alpha_x \cdot dx - \alpha_0 d < 0 \text{ для } E_0 / p > 0,5 B, \quad (2.8)$$

Если напротив, искать такие изменения напряжения на электродах, которые вновь возвращают ионизацию в искаженном поле к ее первоначальной величине в неискаженном поле

$$\int_0^d \alpha_x \cdot dx - \alpha_0 d = 0, \text{ то:}$$

$$\Delta U = (E_0 - 0,5 B p) 1 / E_0^2 \int_0^d \Delta^2 dx \quad (2.9)$$

отсюда

$$\Delta U < 0 \text{ для } E_0 / p < 0,5 B, \quad (2.10)$$

$$\Delta U > 0 \text{ для } E_0 / p > 0,5 B \quad (2.11)$$

Уравнения (2.7) и (2.11) указывают, что однородное поле E_0 , меньше критической величины $0,5 B$, вследствие искажения поля делается выгодным для ионизации при постоянном напряжении на электродах. В этом случае для поддержания ионизации в искаженном поле на том же уровне, что и в неискаженном поле, необходимо меньшее напряжение на электродах.

Уравнения (2.8) и (2.11) соответственно показывают, что искажение поля невыгодно для ионизации, если неискаженное поле больше критической величины. Особенностью уравнений (2.8) и (2.11) является то, что выводы из них совершенно не зависят от того, как в каждом частном случае происходит искажение поля.

Из проведенного анализа следует, что стабильность разрядных процессов можно осуществить в случае, когда подача очередного

импульса напряжения противоположной полярности будет происходить при отсутствии объемных зарядов в разрядном промежутке или когда их количество не оказывают существенного влияния на искажение основного электрического поля.

2.3. Анализ переходных процессов в разрядном промежутке в паузе между импульсами напряжения

Интерес представляет процесс происходящий в разрядном промежутке в паузе между импульсами под действием постоянной составляющей заряда накопленного в разрядном промежутке.

Вопрос стабилизации разрядного процесса по величинам токов, (в нашем случае действуют токи возникающие под воздействием импульса напряжения и токи в паузе между импульсами) может быть решен при выборе такой частоты следования импульсов, при которой за время паузы между импульсами все процессы по движению и рекомбинации заряженных частиц будут доведены до степени, при которой они практически не влияют на проводимость разрядного промежутка, т.е. ток через разрядный промежуток в конце паузы должен быть равен нулю.

Наличие объемных зарядов в разрядном промежутке искажают картину основного электрического поля, что характеризует нестабильность самостоятельных разрядов.

После приложения импульса напряжения одной из полярностей, вызвавшего барьерный разряд, в разрядном промежутке образуются объемные заряды с плотностью τ [74]. За счёта того что в объеме газа из-за рекомбинации и переноса объемных зарядов происходит снижение плотности τ , и соответственно снижается плотность тока через разрядный промежуток [74]:

$$j = e b E \tau(t) \quad (2.12)$$

где: e – заряд электрона, $1,6 \times 10^{-19}$ Кл;

b – подвижность ионов, $\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$;

E – напряженность электрического поля, В/м;

$\tau(t)$ – плотность объемных зарядов, Кл/м³.

Таким образом, в разрядном промежутке в момент времени, когда отсутствуют ионизационные процессы, плотность тока пропорционально напряженности поля, т.е. проводимость линейна. Характер изменения плотности тока будет определяться изменением

$\tau(t)$. Последняя, в свою очередь, будет определяться параметрами электрической цепи к которой подключен разрядный промежуток.

Исходя из изложенного процесс в разрядном промежутке в паузе между импульсами можно проанализировать по переходному процессу в цепи питания. В данном случае разрядный промежуток можно рассматривать как элемент электрической цепи.

Импульсы высокого напряжения формой приведенной на рис. 2.2 можно получить по схеме приведенной на рисунке 2.3, где импульсы высокого напряжения повышаются трансформатором Т и подаются на технологический разрядный промежуток. В схеме предусмотрен датчик контроля разрядного тока Д и регулирующий элемент РЭ.

К выходу схемы (рис.2.2) подключается технологический разрядный промежуток генератора озона, имеющий собственную емкость $C_{рп}$. Одно из преимуществ предлагаемого способа электросинтеза озона с использованием периодических импульсов напряжения над существующим способом электросинтеза озона синусоидальным напряжением, заключается в возможности рассматривания технологического разрядного промежутка как элемента питающей цепи [74].

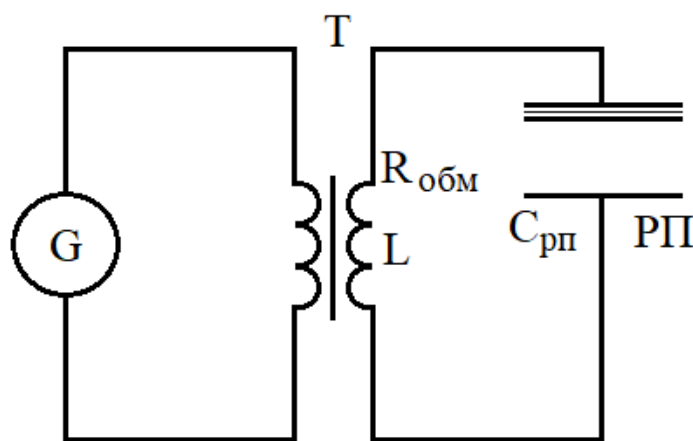


Рис. 2.2. Принципиальная схема процесса электросинтеза озона

G – генератор периодических импульсов напряжения;
T – повышающий трансформатор; $C_{рп}$ – емкость разрядного промежутка; RP - разрядный промежуток.

Был проведен анализ переходного процесса в электрической цепи источника высоковольтных импульсов напряжения в паузе между импульсами. По схеме рис. 2.3 имеем замкнутый контур

состоящий из емкости разрядного промежутка C_{pn} , активного $R_{обм}$ и индуктивного ωL сопротивлений вторичной обмотки повышающего трансформатора [74].

Проанализируем процесс в цепи в паузе между импульсами. После приложения импульса конденсатор C_{pn} зарядится до амплитудного значения импульса напряжения.

Для нахождения закона изменения напряжения и тока разрядного промежутка в паузе между импульсами составим уравнение цепи в комплексной форме [63; 74]:

$$Z = R_{обм} + j\omega L + 1/(j\omega C_{pn}) \quad (2.13)$$

Сомножитель $j\omega$ заменён на оператор p и полученное выражение $Z(p)$ приравняем нулю:

$$Z(p) = R_{обм} + pL + 1/(pC_{pn}) = 0, \quad (2.14)$$

или

$$p^2(C_{pn}L) + pC_{pn}R_{обм} + C_{pn} = 0 \quad (2.15)$$

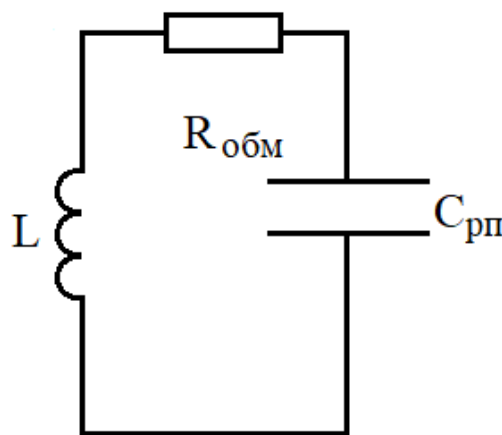


Рис. 2.3. Схема замещения высоковольтной цепи генератора озона

L – индуктивность вторичной обмотки повышающего трансформатора; C_{pn} – емкость разрядного промежутка;

$R_{обм}$ – активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора.

Корни характеристического уравнения (2.15) определяются равенством:

$$p_{1,2} = \{-C_{pn} R_{обм} \pm [(C_{pn} R_{обм})^2 - 4(C_{pn} L)(C_{pn})]^{0,5}\} / (2C_{pn} L), \quad (2.16)$$

Из уравнения 2.16 определим изменение напряжения на конденсаторе C_{pn} :

$$U_{C_{cb}} = (A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}), \quad (2.17)$$

и тока в цепи:

$$i_{cb} = [C_{pn} d(U_{C_{cb}})]/dt = C(A_1 p_1 e^{p_1 t} + A_2 p_2 e^{p_2 t}), \quad (2.18)$$

Начальные условия для расчетов:

$$U_{C_{pn}} = U_a, i_a = i_{cb.0}, t = 0, \quad (2.19)$$

где: U_{c2} – амплитуда напряжения в разрядном промежутке;

U_a - амплитуда напряжения на трансформаторе;

i_a - амплитуда тока разряда;

$i_{cb.0}$ – начальный ток цепи;

t - шаг интегрирования.

С учетом допущений и начальных условий получаем:

$$U_a = A_1 + A_2, \quad i_a = A_1 p_1 + A_2 p_2, \quad (2.20)$$

отсюда

$$A_1 = (p_2 U_a i_a) / (p_2 - p_1), \quad (2.21)$$

$$A_2 = (p_1 U_a i_a) / (p_2 - p_1) \quad (2.22)$$

При этих значениях шага интегрирования, законы изменения напряжения и тока в паузе между импульсами приобретают вид [74]:

$$U_{C_{2.cb}} = [1/(p_2 - p_1)] [(p_2 U_a - i_a) p_1 e^{p_1 t} - (p_1 U_a - i_a) p_2 e^{p_2 t}], \quad (2.23)$$

$$i_{cb} = [C_{pn}/(p_2 - p_1)] [(p_2 U_a - i_a) p_1 e^{p_1 t} - (p_1 U_a - i_a) p_2 e^{p_2 t}] \quad (2.24)$$

Задача решалась на ПК для следующих значений параметров цепи: $L=7$ Гн; $R_{об.м}= 3,5 \times 10^3$ Ом; $C_{pn}= 10^{-9}$, Ф; $U_a= 2 \times 10^4$ В; $i_a = 10^{-4}$ А. Шаг интегрирования 0,001 с. По результатам расчетов построены графики изменения напряжения и тока разрядного промежутка в паузе между импульсами (рис. 2.5) [74].

Результат анализов кривых свидетельствует о одинаковом законе изменения $U_{C_{2.cb}}$ и i_{cb} . Переходной процесс зависит от

параметров цепи $R_{обм}$, L , C_{pn} , т.е. от корней характеристического уравнения. Вместе с тем величина емкости разрядного промежутка C_{np} является определяющим.

Время компенсации зарядов увеличивается с увеличением емкости разрядного промежутка. Так и, при емкости $C_2=10^{-9}$ Ф время компенсации зарядов составляет 0,006 с. Максимальная частота следования импульсов составила должным образом 166 имп⁻¹.



Рис. 2.4. Характеристика изменения напряжения разрядного промежутка в паузе между импульсами: 1 - $C_{np} = 10^{-9}$ Ф

Анализ изменения периодического импульсного и свободного напряжений разрядного промежутка (рис.2.5) показывает, что барьерный разряд протекает в площади 1,2,3,4.

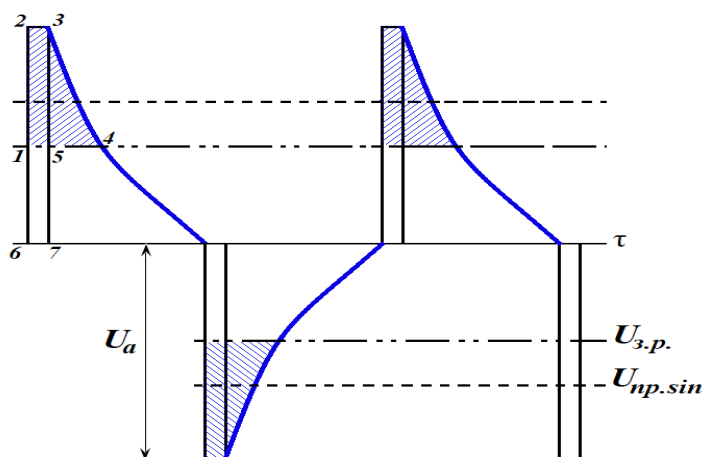


Рис. 2.5. Изменения периодического импульсного и свободного напряжений разрядного промежутка

Данная площадка начинается от напряжения зажигания разряда $U_{з.р.}$. Амплитуда импульсов превышает напряжение пробоя, которое наблюдается при питании генератора озона синусоидальным напряжением – $U_{np.sin}$. Энергия импульсного напряжения описывается площадью заключенной в точках 1,5,6,7. Данная площадь меньше площади занимаемой барьерным разрядом. Отсюда при питании периодическими импульсами напряжения к.п.д. может значительно превысить к.п.д. синусоидальных напряжений.

2.4. Исследование энергетических показателей импульсного и синусоидального напряжений

Существующие устройства электросинтеза озона питаются синусоидальным напряжением частотой 500 Гц [64]. Питание генератора озона синусоидальным напряжением, приводит тока i в цепи сложному гармоническому составу. Усредненная кривая мгновенного значения тока i содержит разрывы (рис. 2.7) в моменты возникновения разряда. Разряд на периоде питающего напряжения u дважды возникает и прекращается. Существование разряда возможно, если рабочее напряжение $U_{a.c}$ на озонаторе превышает некоторое минимальное напряжение $U_{кр.}$. При этом $U_{a.c}$ выбирается меньше, чем напряжение полного электрического пробоя разрядного промежутка.

При питании синусоидальным напряжением происходит нагревание диэлектрического барьера, что приводит к снижению выхода озона. Поэтому в генераторах озона предусматривается охлаждение проточной водой электрода, покрытого барьером [62].

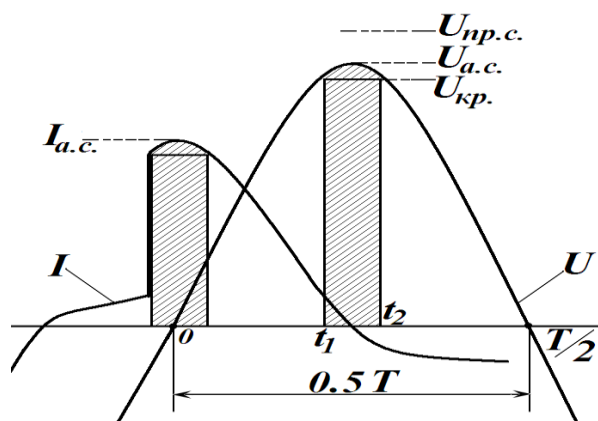


Рис. 2.6. Усреднённые кривые мгновенного напряжения и тока через генератор озона

Проанализирован процесс электросинтеза озона при питании синусоидальным напряжением с использованием известной теории синусоидальных токов с подстановкой параметров соответствующих процессу барьерного разряда. Общая мощность цепи питания генератора озона (ГО) равна

$$P_{\text{общ}} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt \right)^{0.5} \times \left(\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt \right)^{0.5} \quad (2.25)$$

Мощность цепи во время барьерного разряда

$$P_{\text{раз}} = \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} u^2 dt \right)^{0.5} \times \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt \right)^{0.5} \quad (2.26)$$

В уравнениях (1) и (2)

$$u = U_{a.c} \sin(\omega_c t - 0.5), \quad (2.27)$$

$$i = I_{a.c} \sin \omega_c t, \quad (2.28)$$

где: ω_c – угловая частота синусоидального напряжения;

u, i – мгновенные значения тока и напряжения;

$U_{a.c.}$ – синусоидального напряжения;

$I_{a.c.}$ – амплитуда тока разряда;

T – период синусоидального напряжения;

t_1 – время начала разряда;

t_2 – время завершения разряда.

Мощность потерь равна

$$P_{\text{пот}} = P_{\text{общ}} - P_{\text{раз}} \quad (2.29)$$

Из анализа формул (1...5) следует, что значительная мощность потерь приходится на время, при котором разряд в ГО отсутствует. Отсюда следует рабочая гипотеза: повысить эффективность процесса электросинтеза озона можно при использовании периодических импульсов напряжения, имеющих форму схожую с заштрихованной областью синусоидального напряжения, т.е. прямоугольную с большой скважностью (рис.2.6). В данном случае можно повысить амплитуду питающего напряжения $U_{u.a}$ выше пробивного порога

синусоидального напряжения $U_{np.c}$, что характеризуется коэффициентом перенапряжения [22; 23].

$$K = U_{u.a} / U_{np.c}. \quad (2.30)$$

При импульсном питании емкость ГО заряжается до амплитудного значения напряжения, которое выше амплитуды синусоидального напряжения. В промежутке времени $0 - t_1$ (рис.2.7) мощность разряда определяется зависимостью

$$P_{0-t_1} = I_{a.u} \cdot U_{a.u}. \quad (2.31)$$

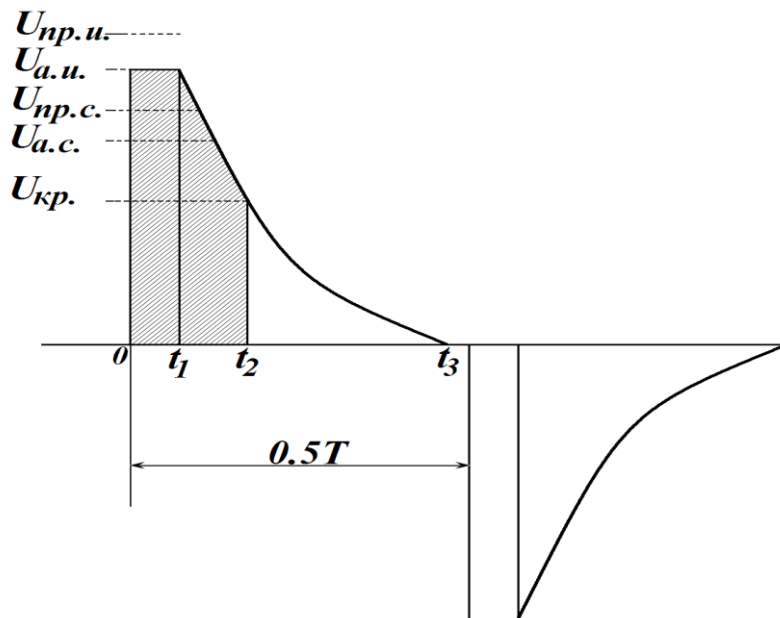


Рис. 2.7. Процесс изменения напряжения на разрядном промежутке при питании периодическими импульсами напряжения

В паузе между импульсами (время от t_1 до t_2) мощность разряда будет определяться зарядом, накопленным в емкости ГО. Заряд будет разряжаться на сопротивлении потерь R_{nom} ГО, сопротивлении $R_{обм}$ и индуктивности L вторичной обмотки повышающего трансформатора, которые являются элементами колебательного контура (рис.2.8). При этом ввиду того, что $R/2L < (CL)^{0.5}$ [41], в контуре имеем малое затухание, которое складывается из токов потерь на R_{nom} (первое слагаемое правой части уравнения) и процесса в контуре $R_{обм}LC_{ГО}$:

$$P_{t_1-t_2} = \frac{U_{a.u}^2}{R_{nom}} e^{-\frac{2t}{R_{nom}C_{ГО}}} + \frac{U_{a.u}^2}{R_{обм}} e^{-\frac{tR_{обм}}{2L}} \left(\cos \omega_{к.к} t + \frac{R_{обм}}{2\omega_{к.к}} \sin \omega_{к.к} t \right), \quad (2.32)$$

где: $\omega_{к.к}$ – угловая частота колебательного контура.

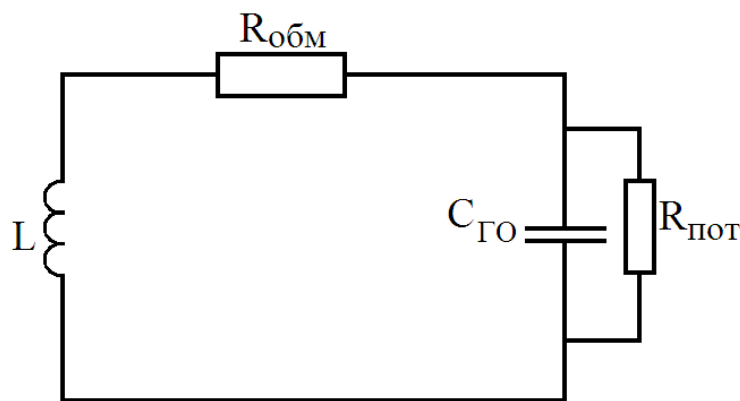


Рис. 2.8. Схема замещения цепи питания разрядного промежутка генератора озона в паузе между импульсами

Начиная с момента времени t_2 напряжение разрядного промежутка снижается ниже критического $U_{кр}$, разряд прекращается, и емкость разряжается на $R_{обм}$, что составляет мощность потерь:

$$P_{t_2-t_3} = \frac{U_{a.u}^2}{R_{обм}} e^{-\frac{tR_{обм}}{2L}} \left(\cos \omega_{к.к} t + \frac{R_{обм}}{2\omega_{к.к}} \sin \omega_{к.к} t \right). \quad (2.33)$$

Анализ уравнений (2.31-2.33) показывает, что основная часть энергии периодических импульсов напряжения расходуется на процесс разряда, который сопровождается электросинтезом озона.

В схемах питания генераторов озона высоким напряжением активное сопротивление вторичной обмотки повышающего трансформатора может быть в пределах от 2 до 20 кОм, индуктивность от 50 до 200 Гн, емкость генераторов озона 10^{-7} до 10^{-9} Ф. В этом случае выполняется условие $(R_{обм}/2L) < (LC)$ и в контуре разряд протекает с малым затуханием [23]. Для перевода контура в режим критического затухания, параллельно ГО можно включить конденсатор емкостью превышающей емкость ГО, что позволит повысить частоту периодических импульсов напряжения и соответственно энергетические показатели процесса электросинтеза озона.

При проведение экспериментальных исследований по теме в 2016 году у генератора периодических импульсов напряжения (10, с.31-33) были выявлены следующие недостатки: наличие

высокочастотных гармоник; сложность регулирования скважности импульсов; отсутствие плавности регулирования частоты следования импульсов.

ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИМИ И УНИПОЛЯРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ НАПРЯЖЕНИЯ

В главе приводятся методика и результаты экспериментальных исследований влияния параметров периодических импульсов напряжения на процесс электросинтеза озона. Выявлено причины нагревания диэлектрического барьера при питании синусоидальным напряжением и было произведено осциллографирование импульсного напряжения для исследования повышения эффективности генераторов озона при питании импульсным напряжением. Анализ процессов в разрядном промежутке выявил, что за счет превышения амплитуды импульсов напряжения электрической прочности разрядного промежутка при синусоидальном напряжении и подачи очередного импульса после полной рекомбинации объемных зарядов, энергия связанная с разрядными процессами превосходит энергию преобразуемую в тепло. Поэтому ожидаемый к.п.д. может превысить 50%. При использовании импульсных периодических напряжений можно использовать менее термостойкие материалы и предавать им необходимые диэлектрические свойства.

3.1. Доработка генератора периодических импульсов напряжения

Как отмечалось в разделе 2.3. настоящей работы процесс электросинтеза озона можно интенсифицировать также за счет превышения амплитуды импульсов пробивного порога синусоидального напряжения. В данном случае используется закономерность увеличения электрической прочности газовых разрядных промежутков с уменьшением времени воздействия напряжения [52].

Данная закономерность определяется коэффициентом перенапряжения:

$$K = U_a / U_{пр}, \quad (3.1)$$

где: U_a - амплитуда импульса напряжения;

$U_{пр}$ – напряжение пробоя разрядного промежутка при синусоидальном напряжении.

Параметры периодических импульсов напряжения (рис.3.1):

- амплитуда импульса напряжения - U_a , В;
- длительность импульса - τ_u , с;
- период повторения импульсов в полупериоде – T_u , с;
- скважность импульса - $Ск = T_u/\tau_u$;
- период импульсов напряжения – T_n ;

Ввиду прикладного характера научной работы, целесообразно выбрать необходимый вид импульса напряжения и реальную схему их генерирования.

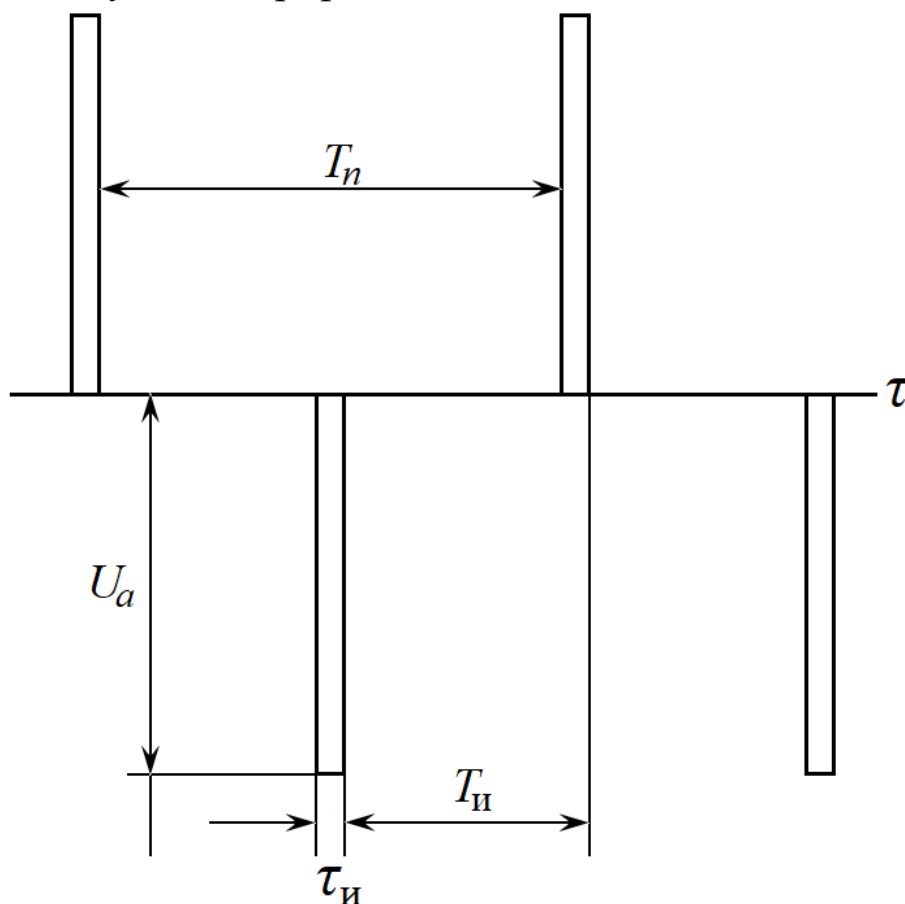


Рис. 3.1. Параметры периодических импульсных напряжений

В этом случае параметры и форма, скважность, длительность и фронт импульса будут характеризоваться схемой генерирования, которая обязана удовлетворять следующие требования:

- обеспечивать устойчивость частоты, амплитуды и формы импульсов напряжения;
- обладать минимальными габаритами, надежностью и простотой, при минимальной стоимости;
- устранять возможность перехода неполного пробоя воздуха в искровой и дуговой разряды;

- в схеме генерирования формы импульсов напряжения необходимо формировать на низковольтной стороне повышающего трансформатора;
- электрической и пожарной безопасности, производственной санитарии;
- исключение радиопомех.

Как показал анализ существующих устройств электросинтеза озона, ввиду нестабильности разрядных процессов, автоматическое управление процессами оказывается неосуществимой задачей. При стабилизации разрядных процессов возникает возможность автоматического управления процессами электросинтеза озона по величине разрядного тока, что можно реализовать по блок-схеме приведенной на рис 3.2.

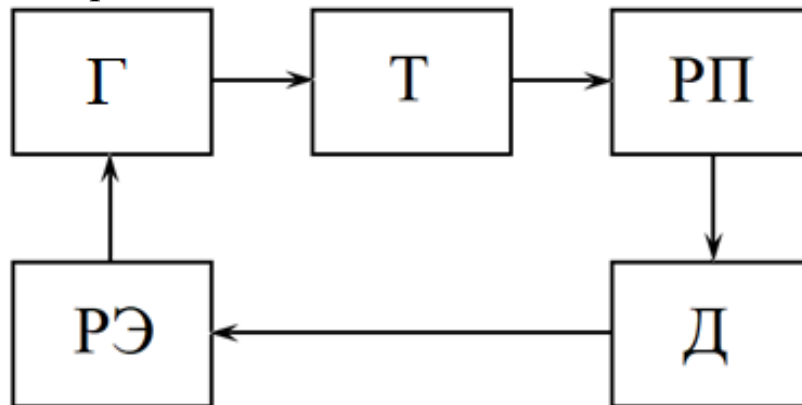


Рис. 3.2. Блок-схема генератора

униполярных импульсов высокого напряжения

Г – генератор периодических импульсов напряжения;

Т – повышающий трансформатор; РП – технологический разрядный промежуток; Д – датчик контроля разрядного тока; РЭ – регулирующий элемент

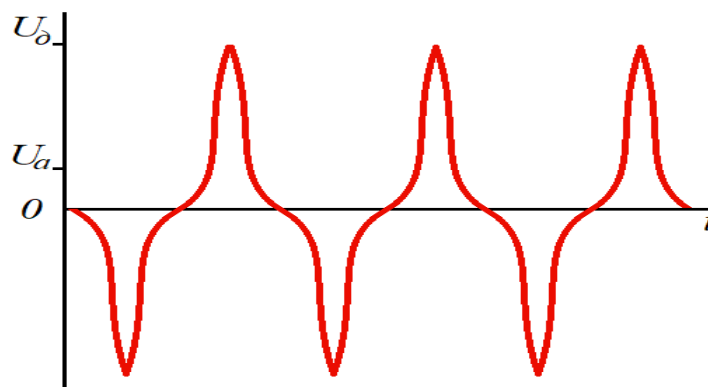


Рис. 3.3. Осциллограмма напряжения на выходе генератора периодических импульсов напряжения

В исследованиях был использован генератор периодических импульсов напряжения машинный, разработанный ранее Ш.М.Музафаровым и Б.Н.Эркиновым. В исследованиях приведены некоторые изменения в параметрах обмотки статора и ротора. Увеличено число витков обмотки возбуждения, с целью повышения магнитного потока, тем самым мощность генератора повысилась с 180 Вт до 275 Вт. Все 36 полюсных обмоток статора генератора были разделены на две секции, с последовательным включением, в наших исследованиях все обмотки пазов включались последовательно [60].

В качестве генератора периодических импульсов напряжения использовался, разработанный и изготовленный нами машинный генератор с 18 парами явно выраженных полюсов на роторе и статоре (рис.3.4). Ротор генератора (рис.3.6) выполнен цельнометаллическим. Количество пазов ротора равно количеству пазов статора. Каждый полюс ротора имеет свою катушку, выполненную проводом ПЭВ-2 диаметром 0,5 мм.



Рис. 3.4. Машинный генератор периодических импульсов высокого напряжения



Рис. 3.5. Статор генератора периодических импульсов напряжения



Рис. 3.6. Ротор генератора с щеточным механизмом питания обмотки возбуждения

Обмотка возбуждения ротора состоит из 50 витков. Все катушки полюсов ротора соединены последовательно и выведены на контактные кольца щеточного механизма, который для удобства обслуживания выведен из полости генератора.

Экспериментальные исследования макета машинного генератора проводились по общепринятой методике испытаний электрических машин [87].

3.2. Устройство блока выпрямителей

В разработках 4 главы предусматривается использовать постоянные напряжения для питания сепаратора аэрозоля, электростатических распылителей положительно заряженной

аэрозоли и отрицательно заряженной аэрозоли. На повышающем трансформаторе имеются три последовательно включаемых катушки высокого напряжения каждая с выходом 5 кВ. Суммарное напряжение равно 15 кВ. Генератор озона подключается к выходу 15 кВ, а потребители постоянного напряжения подключаются к выводу второй катушки, т.е. к напряжению 10 кВ.

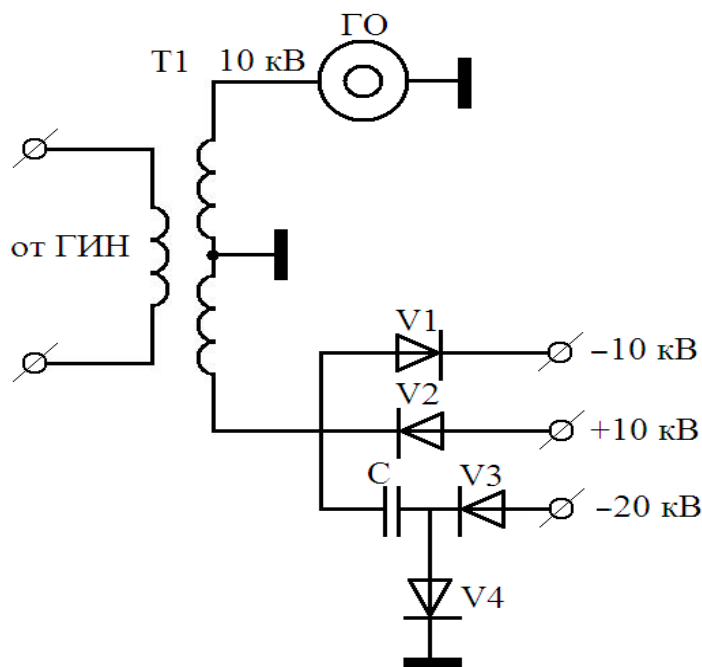


Рис. 3.7. Принципиальная схема подключения потребителей высокого напряжения устройства для обработки питьевой воды озоном

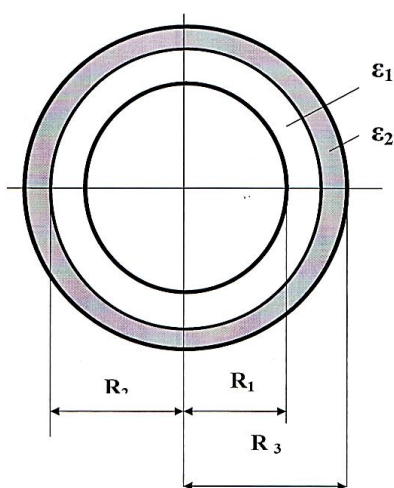
Согласно проведенным исследованиям при межэлектродном расстоянии 0,05 м на сепаратор аэрозоля необходимо подключить напряжение порядка 20 кВ, поэтому его питание производится схемой выпрямления с одной ступенью умножения напряжения.

Электростатические распылители водной аэрозоли подключаются к двум однополупериодным выпрямителям с положительной и отрицательной полярностями. Общий вид блока выпрямителей, устанавливаемый на верхней крышке контактной камеры, изображен на (рис. 3.7).

3.3. Методика экспериментальных исследований влияния параметров периодических импульсов напряжения на процесс электросинтеза озона

Для устранения влияния краевых эффектов на стенде использован цилиндрический генератор озона с параметрами, приведенными на рис. 3.8.

В качестве барьера использована стеклянная труба с наружным диаметром 40 мм и длиной 480 мм. Активная длина генератора озона 400 мм.



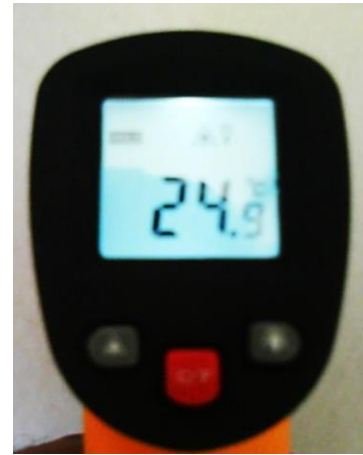
Проницаемость барьера; R_1 – радиус потенциального электрода; R_2 – внутренний радиус диэлектрического барьера.

Рис.3.8. Параметры цилиндрического генератора озона: ϵ_1 – диэлектрическая проницаемость воздушного зазора; ϵ_2 – диэлектрическая

Для контроля процесса нагрева барьера использовался инфракрасный термометр марки GM 300 (рис. 3.9). Этот инфракрасный термометр используется для измерения температуры поверхности объекта, а также применяется для различных степеней тепла опасных и твердых объектов без контакта и быстро.



а.



б.

а – общий вид; б – дисплей

Рис. 3.9. Инфракрасный термометр типа GM 300:

Это совмещает оптику, усилитель сигнала температурного сенсора, воспроизводителя вращения и LCD дисплея. Оптика собирает инфракрасную энергию, излучаемую объектом и сфокусированную на сенсоре. Затем сенсор преобразует энергию в электрический сигнал. Этот сигнал после усиления воспроизводится на LCD дисплее.

Измерение концентрации озона производилось блоком контроля количества озона в озонопроводе до 150 г/м^3 Pozitron-C GOz150 (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Общий вид блока контроля количества озона в озонопроводе до 150 г/м^3 Pozitron-C GOz150.

Таблица 3.1

**Технические характеристики
инфракрасного термометра типа GM 300**

Температурные колебания	-50 ~ 380°C (-58 ~ 716°F)
Точность	0°C-380°C (32 °F-716°F), ± 1.5°C(± 2.7°F) или ± 1.5 % -50°C- 0°C (-58°F- 32 °F), ± 3°C(± 5°F)
Разрешение	0.1°C или 0.1 °F
Время реакции	500 мс, 95% реакции
Спектральная реакция	8 – 14 нм
Эмиссия	0.95Р вновь установленная
Расстояние до отмеченного размера	12 : 1
Действующая температура	0 ~ 40°C (32~ 104°F)
Действующая влажность	10 – 95% свыше 30 °C (86°F)
Температура хранения	-20 - 60 °C (- 4 - 140°F)
Питание	Батарея 9 В
Вес	147.5 г
Размер	153x101x43 мм

Газовые озонметры серии (GOz) для панельного и настенного монтажа используют оптический принцип измерения концентрации озона. Текущее значение концентрации озона в газе индицируется на табло блока и может быть выведено в виде аналогового сигнала с напряжением 0-5 В для систем автоматического мониторинга и автоматического управления озонатором.

Таблица 3.2.

**Технические характеристики блока контроля количества озона
в озонпроводе до 150 г/м³ Pozitron-C GOz150.**

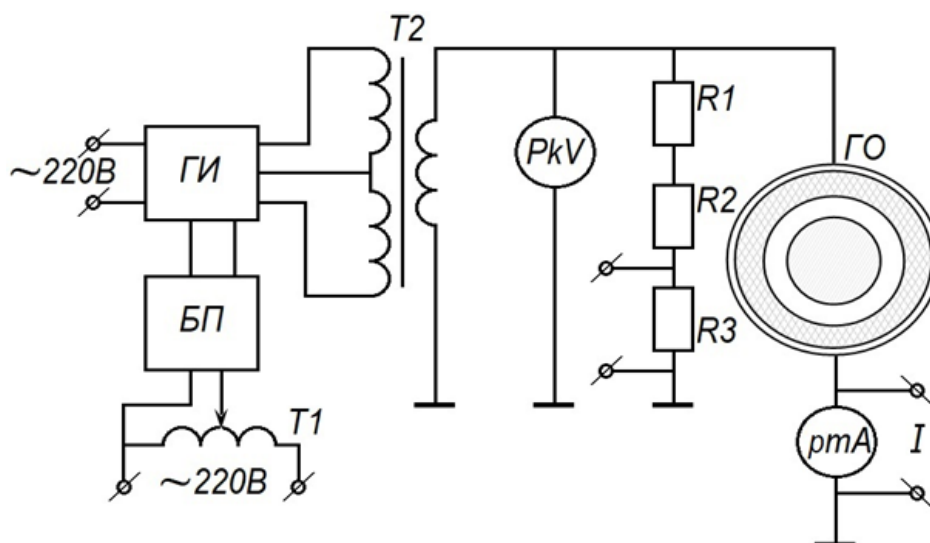
1.	Минимальная измеряемая концентрация озона	0,1 г/м ³
2.	Максимальная концентрация озона	150 г/м ³
3.	Цена деления	0,1 г/м ³

В озонметрах серии (GOz) применен целый ряд новых технических решений, таких как бесконтактная система питания ультрафиолетовой лампы, обеспечивающая долговечность и

стабильность работы, система динамической стабилизации нуля, высокостабильный оптический сенсор на основе диоксида титана и специально разработанное программное обеспечение.

Измеряемый газ подается в оптическую кювету в блоке (GOz). Измерение концентрации озона в оптической кювете осуществляется по поглощению УФ излучения. Концентрация растворенного озона в газе рассчитывается микропроцессором и индицируется на светодиодной панели блока (GOz).

На рис.3.11. приведена принципиальная схема стенда для исследования процесса электросинтеза озона. Периодические импульсы напряжения подпывались на стенд от машинного генератора ГИ. При исследовании процесса электросинтеза при синусоидальном напряжении, напряжение сети подавалось от автотрансформатора.



ГИ – генератор периодических импульсов напряжения; БП – блок питания; $T1$ – автотрансформатор; $T2$ – повышающий трансформатор; $pкV$ - киловольтметр; $R1 \dots R3$ – омический делитель напряжения; ГО – генератор озона; I, U – клеммы подключения осциллографа

Рис. 3.11. Принципиальная схема стенда для исследования процесса электросинтеза озона

Измерение действующего значения импульсного напряжения производилось киловольтметром типа С96. Действующее значения тока разряда измерялось микроамперметром $pтA$.

Процессы изменения кривых напряжения и тока производились осциллографом типа С1-19, который подключался к клеммам U делителя напряжения и I .

Экспериментальные исследования проводились в следующей последовательности:

- осциллографирование тока и напряжения в схеме генерирования озона;
- влияние скважности импульсов на процесс электросинтеза озона;
- влияние частоты импульсов на процесс электросинтеза озона и нагрев диэлектрического барьера.

3.4. Экспериментальные результаты исследований процессов электросинтеза озона при питании импульсным напряжением

Скважность импульсов периодических импульсов напряжения, т.е. отношение периода импульсов к их длительности, равна 5.

Как видно из табл.3.3 при синусоидальном напряжении наблюдается интенсивный нагрев диэлектрического барьера. На частотах 100 и 300 Гц барьер практически не нагревается. На частоте 500 Гц процесс нагрева диэлектрического барьера незначительно усиливается, что свидетельствует о увеличении потерь за счет неполной рекомбинации зарядов в емкости ГО.

Таблица 3.3.

Результаты исследований влияния частоты импульсов напряжения на процесс нагрева диэлектрического барьера

Частота импульсного напряжения	Время работы генератора озона, мин			
	0	10	20	30
Синусоидальное, 50 Гц	23.2	35.6	47.5	52.3
100 Гц	23.4	24.2	24.4	24.6
300 Гц	23.5	24.4	24.6	24.7
500 Гц	23.5	30.5	32.4	34.4
700 Гц	23.4	32.2	32.6	33.4
900 Гц	23.5	32.8	33.9	34.0

Исследование процесса электросинтеза озона при использовании периодических импульсов напряжения проводились на частотах 100, 300 и 500 Гц (табл. 3.3.).

По данным таблицы 3.4. видно, что при использовании периодических импульсов напряжения концентрация озона на выходе озонного генератора увеличивается в 3.9 раза. Этот показатель можно повысить за счет оптимального подбора параметров импульсного напряжения и элементов электрической цепи генерации озона, а также подбора материала диэлектрического барьера.

Таблица 3.4.

Результаты исследований процесса электросинтеза озона

Частота импульсов	Синусоидальное е 50 Гц	Импульс- ное 100 Гц	Импульс- ное 300 Гц	Импульс- ное 500 Гц
Действующее напряжение, кВ	9.4	4.12	4.4	4.6
Амплитуда напряжения, кВ	13.5	20.6	22	23
Ток разряда, mA	1.5	6.8	6.9	7.2
Концентрация озона, г/м ³	12.4	48.4	49.5	45.6
Превышение концентрации озона при импульсном напряжении относительно синусоидального	-	3.9	3.9	3.6

В существующих устройствах для электросинтеза термостойкие материалы, такие как стекла и керамика с различным составом. Технология изготовления электродов с термостойкой изоляцией сложна и требует значительных капитальных затрат.

При использовании импульсных периодических напряжений можно использовать менее термостойкие материалы и предавать им необходимые диэлектрические свойства.

3.5. Экспериментальные исследования по выявлению причин нагревания диэлектрического барьера при питании синусоидальным напряжением и исследование по повышению эффективности генераторов озона при питании импульсным напряжением

Проведенными исследованиями выявлено, что при питании синусоидальным напряжением процесс электросинтеза озона имеет низкий к.п.д. (не более 2%) и сопровождается нагреванием диэлектрического барьера. В данной главе выявлены эти причины.

Были проведены исследования процесса электросинтеза озона при питании импульсным напряжением.

Выявление причин нагревания диэлектрического барьера при питании синусоидальным напряжением

Осциллографирование проводилось при питании генератора озона от повышающего трансформатора. На генератор озона подавалось напряжение 10 кВ. Для осциллографирования напряжения к потенциальным электродам ГО подключался омический делитель напряжения, а для осциллографирования тока между заземленным электродам и заземлением включался омический шунт. Осциллограмма напряжения и тока при питании синусоидальным напряжением приведена на рис 3.12. По осциллограммам тока разряда явно вырисовываются высокочастотные разряды.

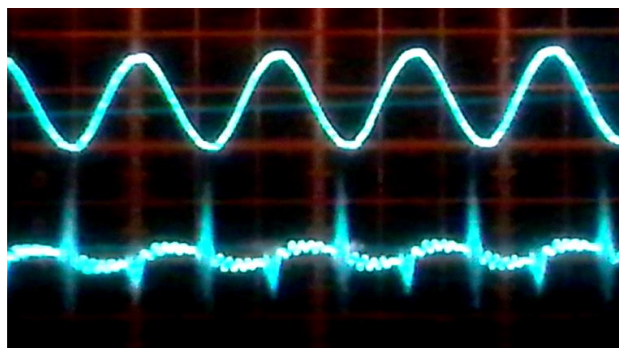


Рис. 3.12. Осциллограмма синусоидального напряжения (верхняя) и тока (нижняя) при питании генератора озона (развертка 0.01 с/см)

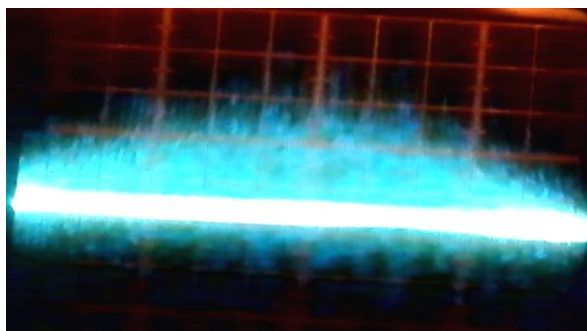


Рис. 3.13. Осциллограмма тока разряда при питании генератора озона синусоидальным напряжением (развертка 0.25 мс/см).

Для ориентировочного определения частоты разрядов была снята осциллограмма тока при развертке 0.25 мс/см (рис. 3.13.) По осциллограмме ориентировочно определена частота этих разрядов, которой лежит в пределе 400 кГц. Это и является основной причиной нагревания диэлектрического барьера.

Повышение эффективности генераторов озона при питании импульсным напряжением

Аналогичные исследования были проведены для импульсных напряжений. В исследованиях была выбрана частота 50 Гц. Периодические импульсы напряжения подавались от машинного генератора. Это связано со стабильностью вида напряжения.

Как показали исследования электронного генератора, форма кривых импульсного напряжения отличаются нестабильностью, и подтверждены колебаниям по частоте, амплитуды в формы в процессе работы.

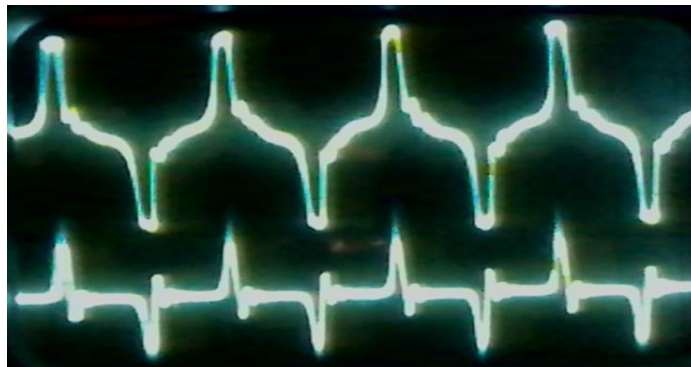


Рис. 3.14. Осциллограмма периодического импульса напряжения (верхняя) и тока (нижняя) в цепи генератора озона (развертка 0.01 с/см).

По осциллограмме ток разряда имеет быстро затухающие колебания частотой 400 Гц. Практически колебательный процесс заканчивается после первого периода колебания. Для снижения частоты колебаний, и соответственно снизить затухающий колебательный процесс тока, в цепи питания генератора озона, параллельно последнему подключался конденсатор.



Рис. 3.15. Осциллограмма периодического импульса напряжения (верхняя) и тока (нижняя) при подключен параллельно генератору озона конденсатора (развертка 0.01 с/см)

Емкость подключаемого конденсатора в двенадцать раз больше емкости генератора озона (соответственно 40 и 470 пФ). В этом случае ток в цепи совершает колебания с частотой 200 Гц. При этом ток разряда имеет устойчивую амплитуду с затуханием. В данном случае повышается энергия накопленная в цепи питания будет использоваться полнее.

3.6. Распределение напряженности электрического поля в трубчатом нагревателе и энергетические показатели озонаторов

Наиболее широко применяются трубчатые озонаторы, которые состоят из пакета трубчатых электродов, размещенных в общем цилиндрическом корпусе. Исходя из этого рассмотрим изменение напряженности электрического поля в разрядном газовом промежутке и в диэлектрическом барьере трубчатого озонатора.

Трубчатый озонатор представляет собой двухслойный конденсатор, электрическое поле в котором создается между двумя цилиндрическими поверхностями с общей осью (рис. 3.8.) и имеет

радиальное направление. В силу симметрии равнопотенциальные поверхности имеют цилиндрическую форму; оси этих поверхностей совпадают с общей осью электродов, причем, конечно, во всех точках одной и той же равнопотенциальной поверхности величина напряженности постоянна и уменьшается от одной равнопотенциальной поверхности к другой.

В этом случае емкость газового промежутка будет равна:

$$C_1 = 2\pi\ell\varepsilon_1\varepsilon_0 / (\ln R_2/R_1), \quad (3.1)$$

где: ℓ – длина конденсатора, м;

$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Емкость диэлектрического барьера

$$C_2 = 2\pi\ell\varepsilon_2\varepsilon_0 / (\ln R_3/R_2). \quad (3.2)$$

Емкость последовательно включенных конденсаторов

$$C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2). \quad (3.3)$$

Напряженность электрического поля цилиндрического конденсатора определяется по формуле

$$E = Q / \varepsilon \varepsilon_0 2\pi R, \quad (3.4)$$

где: R – радиус равнопотенциальной поверхности, для которой определяется напряженность электрического поля.

Так, как при последовательном включении конденсаторов заряды на всех обкладках одинаковы по величине, то

$$Q = C_1 U_1 = C_2 U_2 = CU. \quad (3.5)$$

Отсюда можно определить напряженность электрического поля в каждом слое конденсатора. Напряженность электрического поля в слое газа

$$E_1 = CU / \varepsilon_1 \varepsilon_0 2\pi R_{\varepsilon 1}, \quad (3.6)$$

где: $R_{\varepsilon 1}$ – радиус равнопотенциальной поверхности в слое газа, для которой определяется напряженность электрического поля.

Напряженность электрического поля в слое барьера

$$E_2 = CU / \varepsilon_2 \varepsilon_0 2\pi R_{\varepsilon 2}, \quad (3.7)$$

где: R_{ε_2} – радиус равнопотенциальной поверхности в слое барьера, для которой определяется напряженность электрического поля.

Для проведения числового анализа используем результаты экспериментальных исследований, В экспериментах использовался генератор озона с параметрами: $R_1=0.011$ м; $R_2=0.017$ м; $R_3=0.02$ м; $\varepsilon_1=1$; $\varepsilon_2=7$ (рис.3.8). В качестве потенциального электрода использовалась сетка с ячейками 2x2 мм которая закреплялась по поверхности стеклянного барьера. Эксперименты проводились с использованием машинного генератора периодических остроугольных импульсов напряжения. Для сравнения использовались параметры, полученные при использовании синусоидальных напряжений (табл. 3.5.).

В эксперименте для обоих видов напряжения действующее напряжение составляло 11,5 кВ. В этом случае амплитуда напряжений составила для синусоидального напряжения 16,215 кВ, а для импульсного 57,5 кВ. Коэффициент перенапряжения составил 3,55. Ток разрядной цепи при импульсном напряжении в 20 раз больше чем при синусоидальном напряжении. Соответственно на такую же величину увеличивается проводимость разрядного промежутка. Отсюда вытекает вывод, что под действием амплитудного значения напряженность электрического поля импульсного напряжения как в диэлектрическом барьере, так и в газовом промежутке, образуется низкотемпературная плазма, которая характеризуется высокой проводимостью, свечением в ультрафиолетовой области спектра оптического излучения и отсутствием нагревания диэлектрического барьера. Последние два эффекта связаны с зонной теорией строения материалов, согласно которой переход из высокой энергетической зоны в более низкую сопровождается поглощением энергии и свечением в видимой области спектра оптического излучения (табл.3.5) [46].

В отличие от процессов электросинтеза озона в электрическом поле синусоидального напряжения, в импульсных электрических полях процесс разряда носит аperiodический характер, т.е. процесс разряда протекает за счет энергии накопленной в цепи разряда под действием импульса высокого напряжения с перенапряжением.

Для стабилизации тока разряда по амплитуде частоту следования импульсов необходимо выбирать из условия, что в паузе между импульсами все процессы по рекомбинации и

перемещению зарядов в разрядном промежутке должны полностью завершиться или снизиться до уровня, при котором они не могут препятствовать прохождению очередного импульса напряжения противоположной полярности (время t_3). Эта частота должна выбираться из учета параметров цепи разрядного промежутка: активной и реактивной проводимости вторичной обмотки повышающего трансформатора, емкости и сопротивления утечки генератора озона. Очевидно, что выбор оптимальной частоты следования импульсов напряжения необходимо в каждом отдельном случае применения учитывать параметры повышающего трансформатора и генератора озона.

Параметры синусоидального и импульсного напряжений приведены в табл. 3.5.

В расчетах использовались амплитудные значения синусоидальных и импульсных напряжений. Это связано с тем, что процессы разряда происходят на узком участке напряжений прилегающим к их амплитудам.

Таблица 3.5.

Параметры синусоидального и импульсного напряжений

Наименование параметра	Синусоида- льное 50 Гц	Импульсное 250 Гц
Действующее напряжение на входе трансформатора, В	80	70
Действующий ток на входе трансформатора, А	0,32	2,8
Мощность цепи первичной обмотки трансформатора, Вт	25,6	196
Действующее напряжение, кВ	11,5	11,5
Коэффициент амплитуды	1,41	5
Амплитуда напряжения, кВ	16,215	57,5
Коэффициент перенапряжения		3,55
Ток разряда, мА	20	400
Мощность цепи генератора озона, Вт	230	4400
Сопротивления разрядного контура, кОм	575	28,7
Мощность процесса электросинтеза озона, Вт/кг	115	603

Таблица 3.6.

Результаты расчетов влияния параметров диэлектрического барьера на электрические параметры генератора озона

Определяемый параметр	Обозначение параметра	Используемая формула	Значение параметра
Емкость газового зазора, 10^{-11} Ф	C_1	(3.1)	5.1
Емкость диэлектрического барьера, 10^{-10} Ф	C_2	(4.2)	9.57
Емкость генератора озона, 10^{-11} Ф	C	(4.3)	5.03
Радиус равнопотенциальной поверхности в слое газа, м	$R_{\varepsilon 1}$	$(R_1+R_2)/2$	0.014
Радиус равнопотенциальной поверхности барьера, м	$R_{\varepsilon 2}$	$(R_3+R_2)/2$	0.0185
Напряженность электрического поля в слое газа, кВ/м	E_1	(3.6)	1048* 3724**
Напряженность электрического поля в барьере, кВ/м	E_2	(3.7)	113* 402**

Примечание 1.: * - параметры для синусоидального напряжения;

** - параметры для импульсного напряжения.

Анализ показывает, что наличие диэлектрического барьера значительно повышает напряженность электрического поля в слое газа, что способствует процессу электросинтеза озона. Барьер позволяет получать напряженности электрического поля, значительно превосходящие электрическую прочность газообразных диэлектриков, что является основным предназначением барьера.

Амплитуда напряженности электрического поля в слое газа и в слое диэлектрического поля при питании импульсным напряжением значительно превосходит (в 3...4) раза аналогичную напряженность синусоидального напряжения, чем создаются благоприятные условия для создания низкотемпературной плазмы [48]. Доказательством данного вывода является отсутствие нагревания диэлектрического барьера и образующееся свечение в области спектра УФО (рис. 3.16).

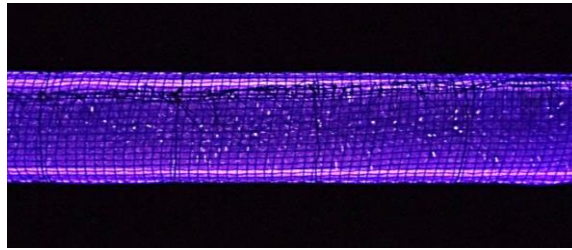


Рис.3.16. Свечение генератора озона при питании периодическими импульсами напряжения

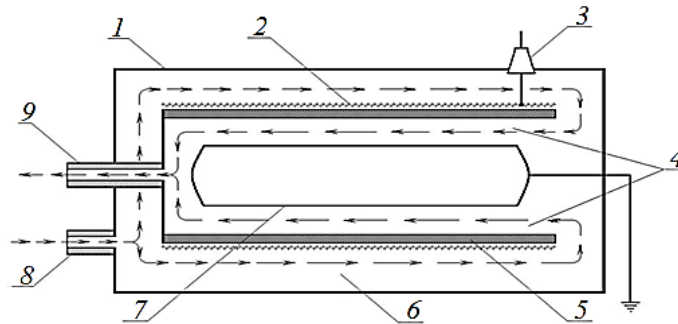


Рис. 3.17. Устройство усовершенствованного трубчатого генератора озона

1 - диэлектрического корпуса; 2 - потенциального электрода в виде сетки с ячейками 2x2 мм; 3 - проходного изолятора; 4 - зоны низкотемпературной плазмы; 5 - диэлектрического барьера из термостойкого стекла; 6 - зоны ультрафиолетового облучения; 7 - заземленного цилиндрического электрода; 8 - патрубка для подачи воздуха; 9-патрубка выхода озоносодержащего газа.

Как показали дальнейшие исследования свечение в области спектра ультрафиолетового излучения является дополнительным источником озона. Поэтому в конструкция трубчатого озонатора были внесены некоторые изменения (рис. 3.17).

ГЛАВА IV. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОТОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ОЗОНОМ

В главе рассмотрены и сопоставлены технологии обработки воды озонем. Разработана проточная технология обработки питьевой воды озонем. Определены сочетания параметров электродной системы «заземленная плоскость – потенциальная плоскость с коронирующими иглами». Исследованиями параметров процесса обработки воды озонем методом электродиспергирования выявлено, при использовании периодических импульсов напряжения большой скважности из существующей технологии обработки питьевой воды озонем устраняются операции охлаждения и сушки воздуха подаваемого в генератор озона, а также охлаждение проточной водой электродов генератора озона. При этом значительно сократится процесс обработки, ввиду большей концентрации озона на выходе озонного генератора. Также приведены результаты производственных испытаний опытно-промышленного образца установки для проточной обработки питьевой воды озонем.

4.1. Существующая технология обработки питьевой воды озонем

Существующая технология обработки питьевой воды озонем включает в себя следующие элементы (рис. 4.1): фильтр для очистки воздуха 1; компрессор для подачи воздуха в генератор озона 2; Процесс электросинтеза озона существенно зависит от температуры воздуха, поэтому перед подачей воздуха в ГО 5 производят его охлаждение в холодильнике 3. Ввиду того, что охлаждение воздуха приводит к конденсации водяных паров, необходимо сушка в осушителе 4.

Подготовленный воздух подается в генератор озона 5. Озоносодержащий воздух подается в контактную камеру 6 наполненной водой подлежащей обработке, где происходит его барботирование. Генератор озона питается синусоидальным напряжением от повышающего трансформатора ИВН, ввиду того, что при использовании синусоидальных напряжений происходит нагревание диэлектрических барьеров ГО, то для их охлаждения в ГО подается охлаждающая вода. [47].

Существующая технология периодического действия, вода в контактной камере после обработки удаляется, затем заполняется новой порцией воды, подлежащей обработке.

Проведенными в 2015 и 2016 годах исследованиями установлено, что при использовании периодических импульсов напряжения скважностью более 5, на процесс электросинтеза озона практически не влияет температура обрабатываемого воздуха, также не наблюдается нагревание диэлектрического барьера. Поэтому из технологической схемы существующего способа обработки воды озоном можно исключить охладитель и осушитель (рис. 4.1).

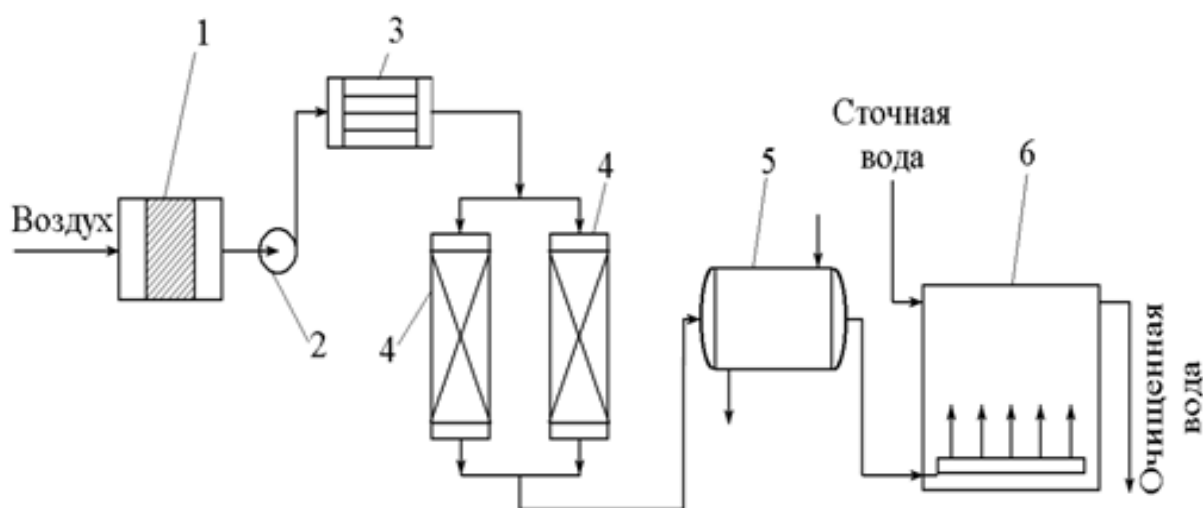
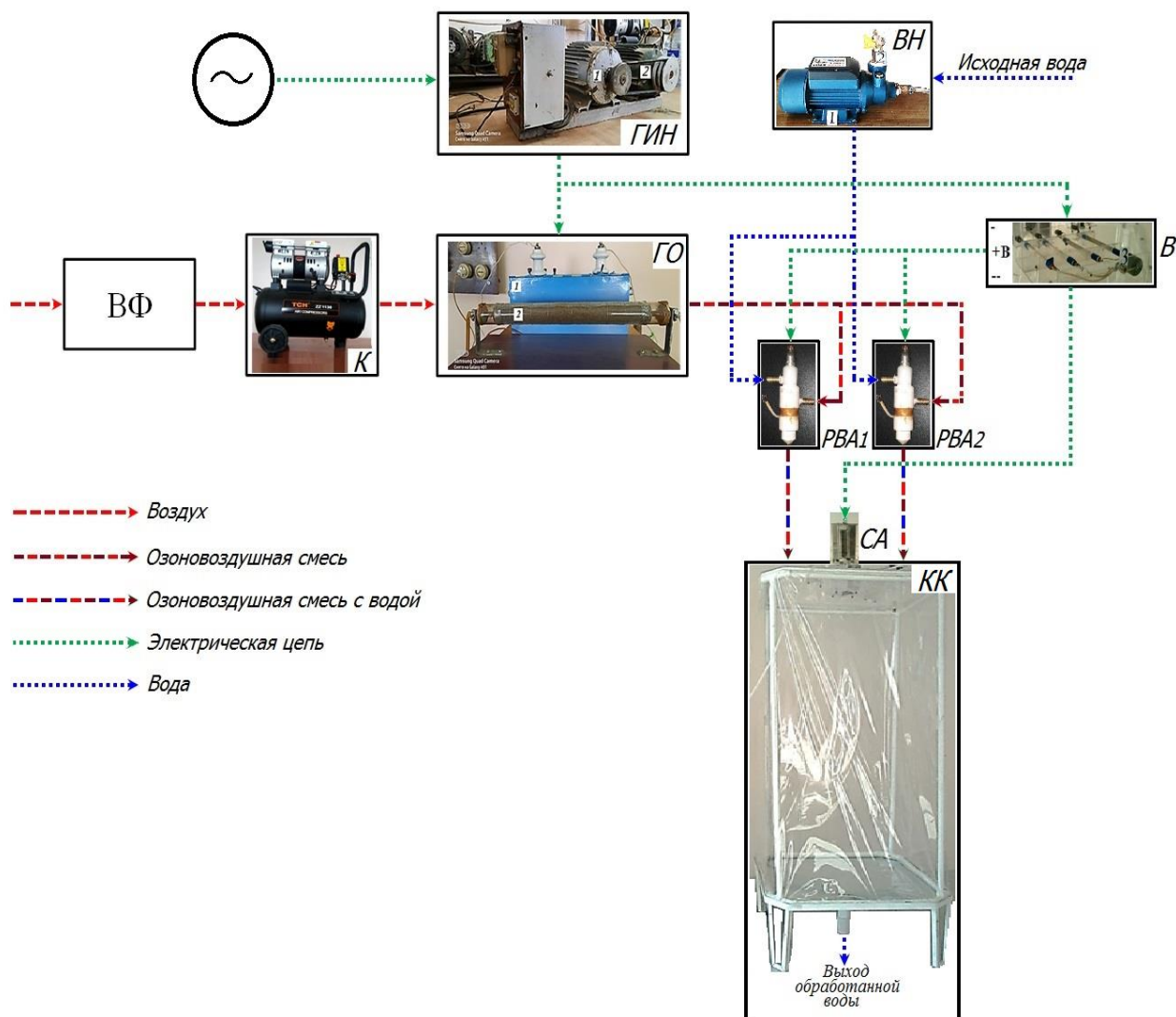


Рис. 4.1. Технологическая схема обработки питьевой воды озоном при использовании разработанного способа электросинтеза озона

Вместо перечисленных элементов в технологическую схему добавляется генератор периодических импульсов напряжения. Кроме этого отпадает необходимость в охлаждении диэлектрического барьера. С учетом более высокого выхода озона следует заключение, что запланированные задачи, для решения выполнены.

4.2. Разработка проточной технологии обработки питьевой воды озоном

Научно-практический интерес представляет использование проточной технологии. Для этого предлагается использование электростатического распыления воды (рис.4.2) для получения водного аэрозоля с однородной дисперсностью. Распыление воды производится подачей на распылитель озоносодержащего воздуха, что является первым этапом обработки. Аэрозольные частицы воды в смеси с озоносодержащим воздухом подается в контактную камеру КК, где производится второй этап обеззараживания. Ввиду того, что плотность озона превышает плотность азота и кислорода, естественно озон будет размещаться в нижней части КК. Излишки газа будут удаляться через верхнее отверстие в крышке КК. На выходе контактной камеры устанавливался коронный сепаратор аэрозоля. Поперечное сечение сепаратора аэрозоля 100x100 мм. По центру сепаратора озона устанавливается потенциальный электрод с коронирующими иглами. Параметры электродной системы определены экспериментально. Длина игл 15 мм, расстояние между иглами в ряду, расположенным поперек потоку газа, 30 мм, расстояние между рядами игл 60 мм



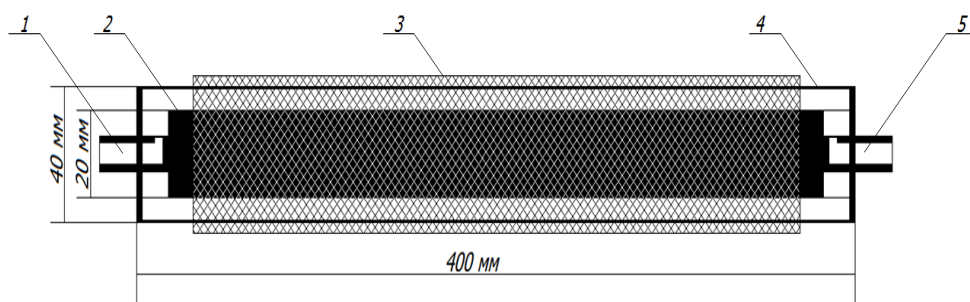
ВФ – воздушный фильтр; К – компрессор; ВН-водяной насос;
 ГИ – генератор периодических импульсов напряжения;
 ГО – генератор озона; В – выпрямитель; СА – сепаратор оэрозоли;
 КК – контактная камера; РВА – распылитель водной аэрозоли
**Рис. 4.2. Технологическая схема проточной обработки воды
 озонном**

Высота КК равна 1.5 м. В эксперименте проверены три варианта распыления: распыление отрицательно заряженной водной аэрозолью; распыление положительно заряженной водной аэрозолью; распыление отрицательно и положительно заряженной водной аэрозолью с помощью двух распылителей. РВА.

4.3. Элементы экспериментальной установки для проточной обработки питьевой воды озоном

Устройство генераторов озона.

Генератор озона для экспериментального образца, ввиду простоты изготовления, был изготовлен из цельной стеклянной трубки диаметром 40 мм² и длиной 400 мм, который закрыт с двух сторон оргстеклом в которых сделанны проёмы для выводов трубок входа воздуха и выхода озоновооздушной смеси. Стеклянная трубка обвёрнута металлической сеткой который исполняет роль потенциального электрода. Активная зона трубчатого генератора озона 360 мм. Боковые крышки – оргстекло толщиной 10 мм. Генератор озона размещен в металлический кожух.



- 1 – вход воздуха;
2 – заземлённый электрод; 3 – сетка-потенциальный электрод,
4 – диэлектрический барьер; 5 – выход озоновооздушной смеси.

Рис. 4.3. Эскиз трубчатого генератора озона

Распылитель водной аэрозоли. Рабочие чертежи элементов распылителя приведены на рис. 4.4. Внутренняя и наружная обоймы распылителя выполняются из фторопласта. Втулка контактного стержня изготавливается из нержавеющей стали. Втулка контактного стержня изготавливается из нержавеющей стали. Для создания электрического поля в выемку внешней обоймы устанавливается электрод выполненный из медной фольги. Устройство остальных элементов экспериментальной установки приведены в «Техническом задании на проектирование и изготовление экспериментального образца установи для проточной обработки питьевой воды озоном» (См. приложение).

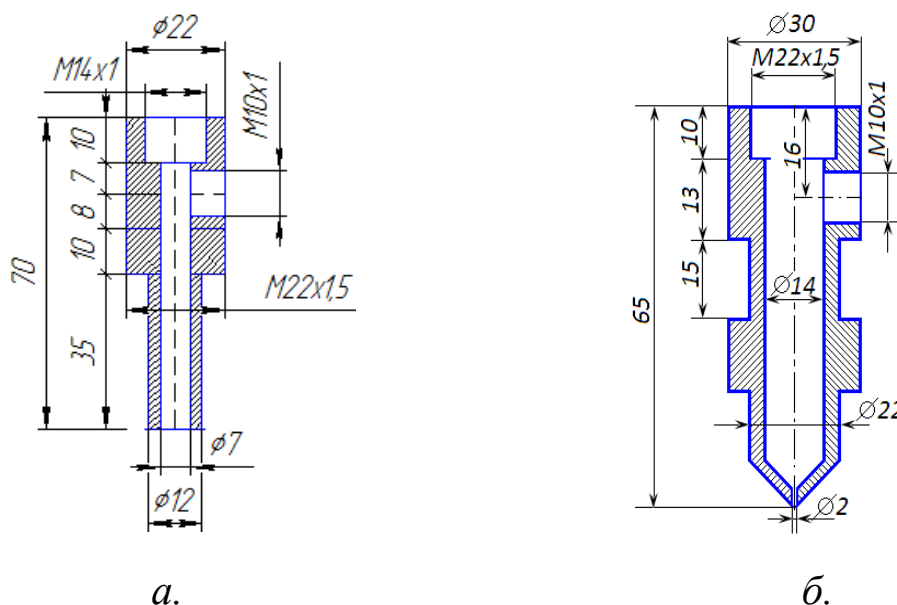


Рис. 4.4. Детали распылителя водной аэрозоли
a - внутренняя обойма, фторопласт; *б* – наружная обойма;
в – втулка контактного стержня, нержавеющая сталь;
г – контактный стержень.



Рис. 4.5. Общий вид электростатического распылителя водной аэрозоли

4.4. Устройство коронного сепаратора аэрозоля

Необходимость разработки коронного сепаратора аэрозоля возникла при проведении лабораторных испытаний экспериментальной установки. Наблюдался унос аэрозоля через выпускное отверстие в верхней крышке установки. Для улавливания водной аэрозоли и возвращения ее обратно в контактную камеру был использован улавливатель, принцип которого основан на использовании коронного разряда. Для сепаратора использована система электродов «заземленная плоскость – потенциальная плоскость с коронирующими иглами».

Выбор расстояния между плоскостями определялся величиной напряжения потенциального электрода, величина которого должна обеспечивать устойчивый разряд с коронирующими иглами.

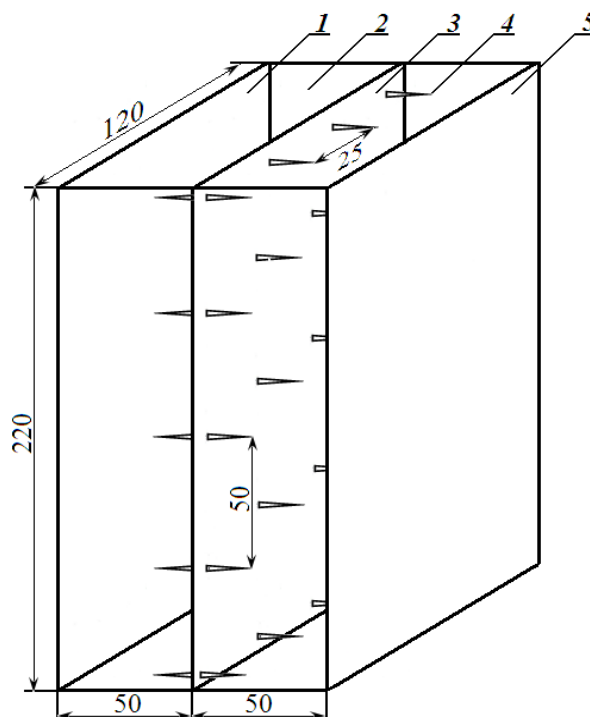


Рис. 4.6. Параметры улавливателя водной аэрозоли

Ориентировочная величина напряженности электрического поля равна 8×10^5 В/м. Все потребители высокого напряжения на установке питались от одного повышающего трансформатора. Повышающий трансформатор с выходом действующего импульсного напряжения 4 кВ, амплитуда напряжения составляет 20 кВ. При использовании выпрямителя с умножением напряжения действующее напряжение составит 24 кВ, а амплитуда 40 кВ. При этих значениях напряжения расстояние между электродами равно 0.05 м.

Параметры электродной системы определялись на основании экспериментальных исследований приведенных в работе [24]. Расстояние между плоскостями устанавливалось равное 0.05 м.

Таблица 4.1.**Параметры электродной системы для сепаратора аэрозоля**

Наименование параметров	Размеры		
Расстояние между плоскостями, мм	0,05		
Длина игольчатых электродов, мм	10	15	20
Расстояние между иглами в ряду, мм	25	30	40
Расстояние между рядами игл, мм	50	60	80

На рис. 4.6. приведен эскиз улавливателя водной аэрозоли.

4.5. Устройство экспериментального образца установки для проточной обработки питьевой воды озоном

Экспериментальный образец установки для проточной обработки питьевой воды озоном (рис.4.7) состоит из контактной камеры высотой 1.5 м и основанием 0.7x0.7 м. На верхней крышке установлены два пневмоэлектростатические распылители, сепаратор аэрозоля и блок выпрямителей (рис.4.10).

Отдельно от контактной камеры, на стеллаже, установлены компрессор с приводом от универсального коллекторного двигателя, водяной насос с регулятором-распределителем (рис. 4.8), ротометр, электронный генератор периодических импульсов напряжения (рис. 4.11), генератор озона с повышающим трансформатором (рис.4.9). Воздушный и водяной провода выполнены полихлорвиниловыми трубками диаметром 9 и 10 мм.

Для регулирования напряжения подаваемого на двигатель компрессора и силовую часть генератора периодических импульсов напряжения использовался автотрансформатор типа РЛНО-250 с двумя регулируемые выводами. Концентрация озона измерялась озонометром тип Goz-150. Озонометр используется для измерения концентрации озона в озонопроводах. Он включался по схеме предусматривающим отбор газа из озонопровода и обратного его возвращения в озонопровод.



Рис. 4.7.Общий вид экспериментальной установки для проточной обработки воды озоном

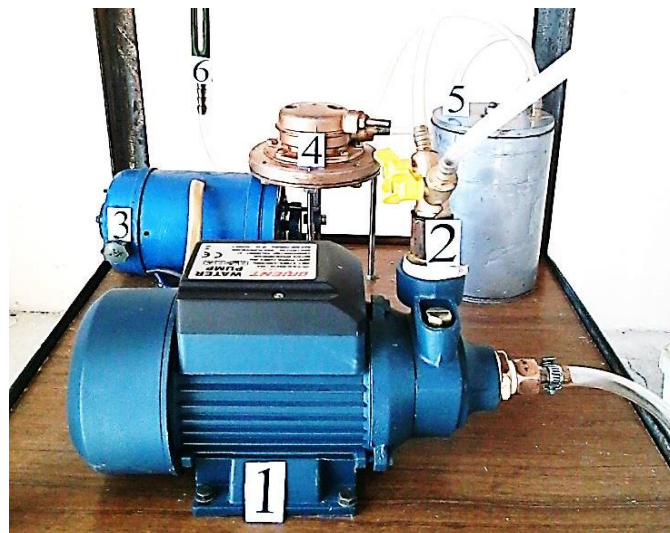


Рис. 4.8. Оборудование нижней полки стеллажа
 1 – насос; 2- распределитель регулятор расхода воды;
 3- универсальный коллекторный двигатель привода компрессора;
 4-компрессор; 5-рессивер; 6 - ротометр для измерения подачи воздуха.



Рис. 4.9. Оборудование верхней полки стеллажа
1- повышающий трансформатор; 2-генератор озона.



Рис. 4.10. Оборудование установленной на крышке контактной камеры
1-пневмоэлектростатический распылитель;
2- сепаратор аэрозоля; 3 – блок выпрямителей .



Рис.4.11. Генератор периодических импульсов напряжения (1), приводной двигатель (2), пульт управления (3)

4.6. Исследование параметров процесса обработки воды озоном методом электродиспергирования

При проведении экспериментальных исследований используется метод математического планирования исследования, позволяющий получить необходимую информацию об изучаемом процессе в ходе экспериментального проведения с меньшими затратами времени и усилий. Задачей экспериментального исследования является построение математической модели процесса, связывающей внешние воздействия и параметры объекта с качеством обработки [35; 36; 70].

Учитывая требования к разработке математической модели процесса обработки воды озоном методом электродиспергирования, необходимо определить факторы и определить интервалы их изменения.

В результате мониторинга процесса обработки воды озоном методом электродиспергирования были отобраны результаты оптимальных параметров обработки и коэффициентов вариации. Диапазон количественных факторов вариации выбран на основании результатов исследований процесса обработки воды озоном.

Работа проводилась с использованием математической теории планирования экспериментов для уменьшения количества экспериментов и повышения точности, для получения уравнений математического описания процесса, для установления режимных параметров в оптимальной области исследований. Для построения

экспериментальной матрицы планирования переход от фактических значений факторов к кодированным значениям был осуществлен с использованием следующего выражения.

Исследования осуществлялись с использованием методов математического планирования эксперимента. В частности были применены ортогональные планы второго порядка.

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{0j} y_j}{N} - \sum_{i=1}^n a_{ii} \bar{x}_i^2;$$

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2};$$

$$a_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} x_{kj} y_j}{\sum_{j=1}^N x_{ikj}^2};$$

$$a_{ikl} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} x_{kj} x_{lj} y_j}{\sum_{j=1}^N x_{iklj}^2};$$

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^N x'_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^N x'^2_{ij}}; \quad i = \overline{32,3}$$

1. Осуществлялась проверка значимость коэффициентов математической модели по критерию Стьюдента [58]. Расчетное значение критерия Стьюдента определялось по следующей методике.

Вычислялись дисперсии коэффициентов по формулам:

$$S_{a_0}^2 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{N}; \quad S_{a_i}^2 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}; \quad S_{a_{ik}}^2 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{\sum_{j=1}^N x_{ikj}^2}; \quad S_{a_{ikl}}^2 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{\sum_{j=1}^N x_{iklj}^2}; \quad S_{a_{ii}}^2 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{\sum_{j=1}^N x'^2_{ij}}; \quad i = \overline{32,3} \quad (4.3)$$

где $S_{\text{воспр}}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (y_j^0 - \bar{y}^0)^2$ - дисперсия воспроизводимости; y_j^0 - j -ое значение отклика, полученное в серии дополнительных опытов, поставленных в центре плана; $\bar{y}^0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_j^0$.

Вычислялось расчетное значение критерия Стьюдента для каждого коэффициента математической модели по формулам:

$$t_{a_0} = \frac{|a_0|}{S_{a_0}}; \quad t_{a_i} = \frac{|a_i|}{S_{a_i}}; \quad t_{a_{ik}} = \frac{|a_{ik}|}{S_{a_{ik}}}; \quad t_{a_{ikl}} = \frac{|a_{ikl}|}{S_{a_{ikl}}}; \quad t_{a_{ii}} = \frac{|a_{ii}|}{S_{a_{ii}}}; \quad i = \overline{32,3}$$

Расчетное значение критерия Стьюдента сравнивалось с табличным значением, взятым при уровне значимости $p = 0,05$ и числе степеней свободы $f = m-1=2-1=1$, где m - число дополнительных опытов в центре планы, по которым определялось значение дисперсии воспроизводимости. Коэффициенты, для которых расчетное значение критерия Стьюдента было меньше табличного значения, исключались из математической модели как незначимые.

2. Осуществлялась проверка адекватности полученной математической модели по критерию Фишера [49]. При выполнении условия $F_{расч.} \leq F_{табл.}$ математическая модель считается адекватной. Расчетное значение критерия Фишера рассчитывалось по формуле:

$$F_{расч.} = \frac{S_{ад.}^2}{S_{воспр.}^2}$$

где: $S_{ад.}^2 = \frac{1}{N-l} \sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2$ - остаточная дисперсия; l - число значимых коэффициентов математической модели; y_j, \hat{y}_j - экспериментальные и модельные значения отклика, соответственно.

При обработке данных таблицы 4.3 по описанной выше методике были получены следующие результаты

Математическая модель в безразмерном масштабе до отсева незначимых параметров:

$$\hat{y} = 40,31 + 2,81x_1 - 3,43x_2 - 1,56x_3 + 0,31x_2x_3 - 2,81x_1x_2x_3$$

После отсева незначимых коэффициентов окончательно была получена следующая математическая модель:

$$\hat{y} = 38,01 + 2,65x_1 - 3,24x_2 - 1,47x_3 - 1,48x_2x_3 - 2,65x_1x_2x_3$$

При проверке на адекватность по критерию Фишера модель признана адекватным:

для модели $F_{расч.}=0,43$

$F_{табл.}$ для $p=0,05$; $f_1=N-l=15-7=8$; $f_2=m-1=1$ равно 241, следовательно условие $F_{расч.} \leq F_{табл.}$ выполняется.

На рисунке 4.12 приведены графики экспериментальной и модельной кривых отклика.

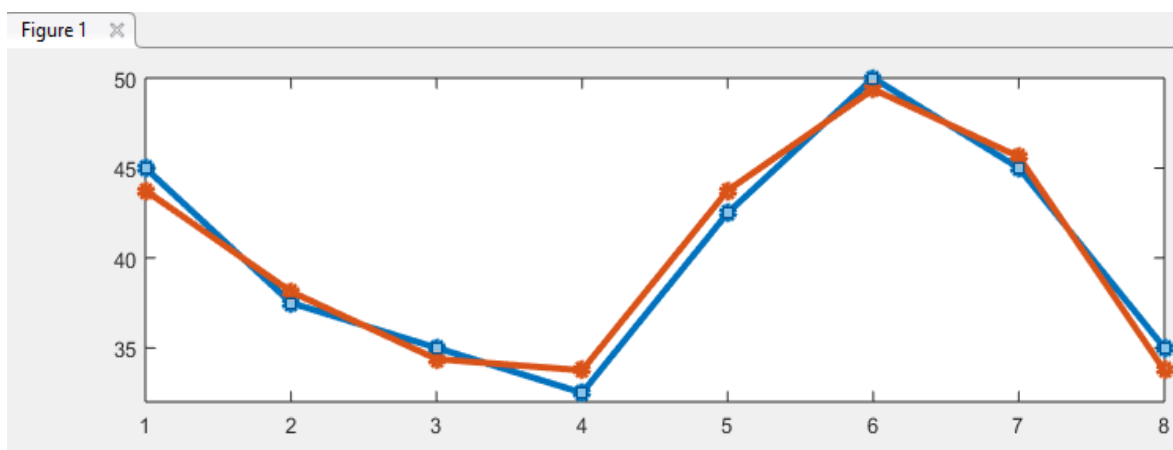


Рис. 4.12. Графики отклика, полученные в эксперименте
Синий цвет кривой модели и оранжевый цвет кривой расчётный.

Среднее отклонение модельного от экспериментальных данных $l = 0,9765625$ находится в пределах погрешности вычисления. Максимальное отклонение модельного от экспериментальных данных $l_{max} = 1,25$ находится в пределах погрешности вычисления.

При переходе к натуральному масштабу учитывалось выражение (4.1). Окончательно математическая модель в натуральном масштабе имеет вид:

$$\hat{y} = 40,3125 + \frac{2,8125}{0,5} * x_1 - \frac{2,8125 * 2}{0,5} - \frac{3,4375}{0,25} * x_2 + \frac{3,4375}{0,25} * 0,8 - \frac{1,5625}{1} * x_3 + \frac{1,5625}{1} * 11 - 1,5625 - \frac{(x_2 * x_3 - 11 * x_2 - 0,8 * x_3 + 0,8 * 11)}{0,25 * 1} - 2,8125 * \frac{(x_1 - 2) * (x_2 - 0,8) * (x_3 - 11)}{0,5 * 0,25 * 11}$$

Чтобы найти оптимальное значение математической модели, расчёт был произведён на компьютере программой Pascal ABC [33; 44]. На рис. 4.13 представлена блок-схема алгоритма расчета обработки воды озоном методом электродиспергирования.

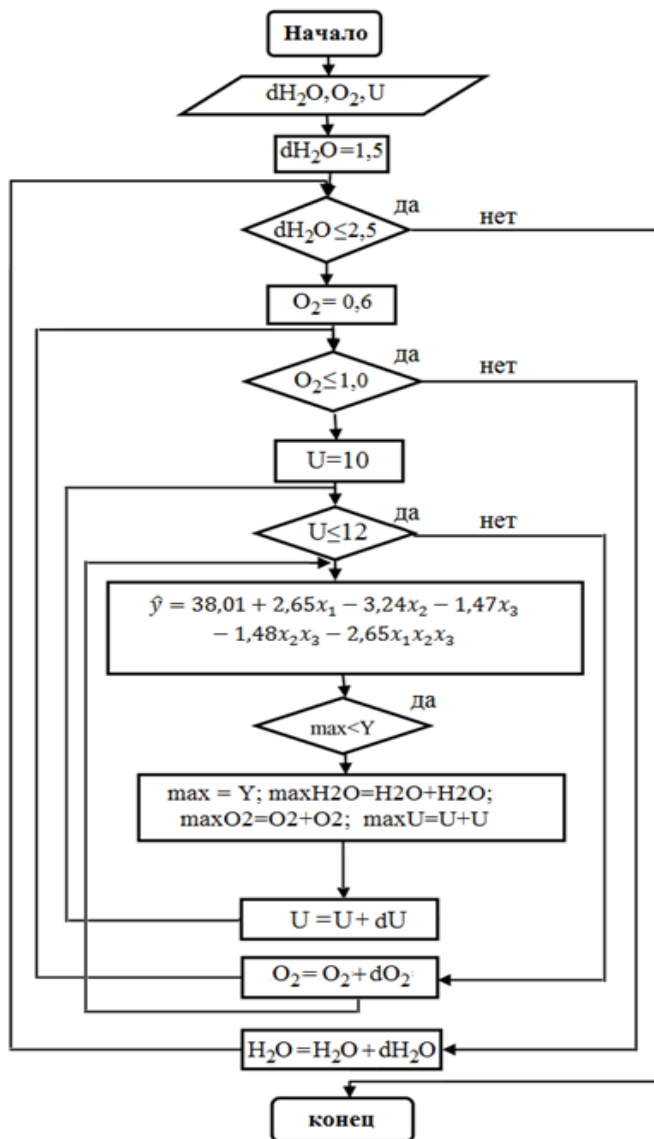


Рис. 4.13. блок-схема алгоритма расчета обработки воды озоном методом электродиспергирования

В результате исследований был определен область оптимума процесса обработки воды озоном методом электродиспергирования: расход воды 2 л/с, расход воздуха 0,8 л/с, напряжение 11 кВ.

4.7. Методика проведения производственных испытаний экспериментальной установки для обработки питьевой воды озоном

Производственные испытания экспериментальной установки для проточной обработки питьевой воды проводились на насосной станции питьевой воды ООО “Тошкент сув таъминоти” Кибрайского района, на воде открытого источника (канал Бозсу) и на воде артезианской скважины. Исследования проводились для трех вариантов:

- на отрицательно заряженной аэрозоли;
- на положительно заряженной аэрозоли;
- на биполярно заряженной аэрозоли.

Пред проведением исследований проводился подбор расхода воздуха. Наилучшее распыление воды происходила при расходе воздуха равное $0.027 \text{ м}^3/\text{с}$, и расходе воды – 0.1 кг/с . При подаче на распылители однополупериодное действующее напряжение равное 2.5 кВ , амплитуда напряжения равна 12.5 кВ . При большем напряжении наблюдались искровые пробои на индуцирующий заземленный стержень. При этих значениях импульсного напряжения проводились исследования. При этом напряжении на выходе генератора концентрация озона была измерена озонометром GOz-150 и равнялась 73 г/м^3 .

Напряжение питания сепаратора аэрозоля, выпрямленного по схеме умножения напряжения следующие: постоянная составляющая напряжения $12,5 \text{ кВ}$; действующее напряжение – 15 кВ ; амплитуда – 25 кВ . Дисперсность распыленной воды определялась с помощью предметных стекол покрытых смесью веретенного масла 3 части и одной части вазелина. При попадании частиц воды на поверхность обработанных предметных стекол, капли не расплываются, а имеют форму почти идеального шара. При распылении без приложения напряжения дисперсность капель, измеренных помощью микроскопа, лежит в пределах $50\text{-}800 \text{ мкм}$. При приложении напряжения отрицательной полярности дисперсность капель лежит в пределах $30\text{-}50 \text{ мкм}$. При приложении напряжения положительной полярности дисперсность капель равна $40\text{-}60 \text{ мкм}$. Размеры капель определялись с помощью микроскопом. Бактериологические и химические анализы

проводились сотрудниками Ташкентского областного ЦСЭК. Результаты анализов приведены в приложении.

4.8. Результаты производственных испытаний экспериментальной установки для проточной обработки питьевой воды озоном

Производственные испытания проводились с 6 сентября по 10 сентября 2017 года на насосной станции питьевой воды санатория «Ботаника». Анализ результатов исследований процесса обеззараживания воды открытых водоемов и артезианских скважин (табл. 4.5.) показывает, что наилучший процесс обеззараживания наблюдается при биполярной зарядке водной аэрозоли.

Таблица 4.5

Результаты бактериологического анализа воды обработанной озоном.

п/н	Расход воды, 0.1 кг/с	Расход воздуха, 0.027 м ³ /с	Вид обработки	Концентрация озона, г/м ³	Общее микробное число в 1 литре
Вода из открытого водоема					
1	0.1	0.027	Контроль	73	2014
2	0.1	0.027	(+) аэрозоль	73	124
3	0.1	0.027	(-) аэрозоль	83	107
4	0.1	0.027	(-,+) аэрозоль	73	41
Вода из артезианской скважины					
5	0.1	0.027	Контроль	73	1230
6	0.1	0.027	(+) аэрозоль	73	90
7	0.1	0.027	(-) аэрозоль	73	74
8	0.1	0.027	(-,+) аэрозоль	73	31

При предельно допустимой концентрации (ПДК) общего микробного числа (ОМЧ) равном 100 л⁻¹, при обработке биполярно заряженной аэрозолью ОМЧ для воды открытых водоемов снизилась от 2014 до 41, а для воды артезианских скважин – от 1230 до 31.

Химический анализ воды обработанной озоном показал на некоторое снижение концентрации некоторых примесей и солей находящихся в воде. Химический анализ проводился только для биполярно заряженной аэрозоли.

4.9. Результаты производственных испытаний опытно-промышленного образца установки для проточной обработки питьевой воды озоном

При проведении производственных испытаний экспериментального образца установки для проточной обработки питьевой воды озоном в 2017 году были выявлены некоторые недостатки, препятствующие непрерывной надежной работе установки. К этим недостаткам относятся:

- Частые перегорания микросхем и полупроводниковых элементов электронного генератора периодических импульсов напряжения и их недостаточная мощность;
- Питание озонного генератора, электростатических распылителей и сепаратора аэрозоля от одного повышающего трансформатора препятствовало согласованной работе этих элементов;
- Низкая производительность и давление компрессора, приводило к попаданию воды в полость генератора озона и соответственно пробой внутри генератора;
- Необходимость доработки электростатических распылителей аэрозоля.
- Низкая энергетическая эффективность используемой схемы генерирования с электронным генератором периодических импульсов напряжения и генератора озона с плоскими электродами.
- Для опытно-промышленной установки был приобретен промышленный компрессор типа **ТСН ZZ1130** производительностью 100 л/мин, давлением до 6 кг/см², с однофазным асинхронным электродвигателем.
- Установкой компрессора ТСН были заменены элемента 3, 4, 5 рис.4.14.
- Повышающий трансформатор был заменен трансформатором с входным напряжением 100/220 В и двумя отдельными выводами по 10 кВ (рис. 4.15) мощностью 2х500 ВА. К одному выходу подключался генератор озона. К второму – электростатические распылители и сепаратор аэрозоля.

Производственные испытания экспериментальной установки для проточной обработки питьевой воды проводились на насосной станции питьевой воды ООО “Тошкент сув таъминоти” Кибрайско-

го района на воде открытого источника (канал Бозсу) и на воде артезианской скважины.



Рис. 4.14. Компрессор TCH ZZ1130



Рис. 4.15. Трансформатор с входным напряжением 100/220 В и двумя отдельными выводами по 10 кВ

Исследования проводились для четырех вариантов:

- на незаряженной аэрозоли
- на отрицательно заряженной аэрозоли;
- на положительно заряженной аэрозоли;
- на биполярно заряженной аэрозоли.

Перед проведением исследований проводился подбор расхода воздуха. Наилучшее распыление воды происходила при расходе воздуха равное $0.027 \text{ м}^3/\text{с}$, и расходе воды – 4 л/мин.

При подаче на распылители однополупериодное действующее напряжение равное 2.5 кВ, амплитуда напряжения равна 12.5 кВ. При большем напряжении наблюдались искровые пробои на индуцирующий заземленный стержень. При этих значениях импульсного напряжения проводились исследования. Параметры напряжения подаваемого на генератор озона такие же. При этом напряжении на выходе генератора концентрация озона была измерена озонометром GOz-150 и равнялась $73 \text{ г}/\text{м}^3$.

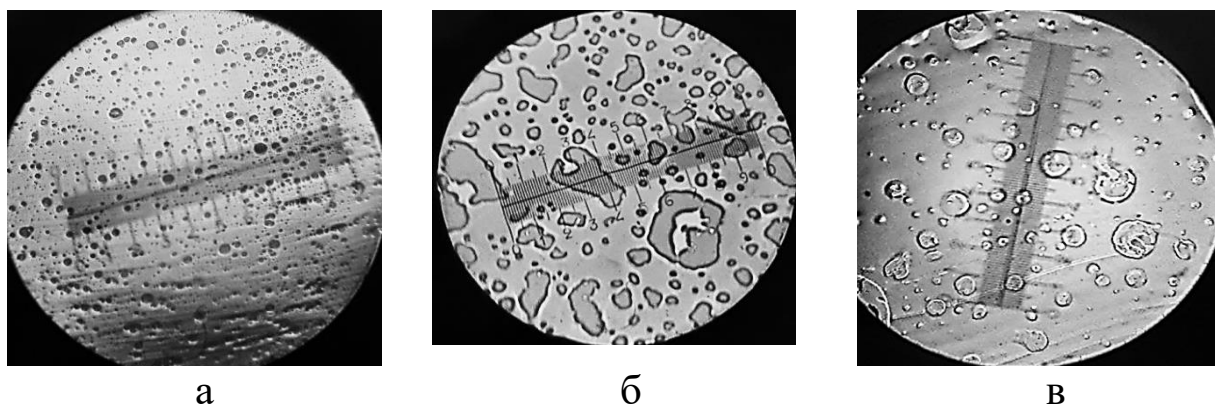


Рис. 4.14. Микрофотографии распыленной водной аэрозоли
 а – аэрозоль после электростатического распыления; б – аэрозоль
 после распыления с продуванием воздухом; в – аэрозоль без
 продувания воздухом (Одно деление визирной линейки
 соответствует 15 мкм).

Напряжения питания сепаратора аэрозоля, выпрямленного по схеме умножения следующие: постоянная составляющая напряжения 12,5 кВ; действующее напряжение – 15 кВ; амплитуда – 25 кВ.

Дисперсность распыленной воды (рис. 4.14) определялась с помощью предметных стекол покрытых смесью из 3 частей веретенного масла и одной части вазелина.

При попадании частиц воды на поверхность обработанных предметных стекол, капли не расплывались, а имели форму почти идеальной полусферы. При распылении без приложения напряжения дисперсность капель, измеренных микроскопов, лежит в пределах 50-800 мкм. При приложении напряжения отрицательной полярности дисперсность капель лежит в пределах 30-50 мкм. При приложении напряжения положительной полярности дисперсность капель равна 40-60 мкм.

При проведении испытаний проводился контроль процесса нагрева поверхности генератора озона. За все время испытаний температура барьера повысилась на 1 °С. Температура измерялась в процессе работы генератора озона, дистанционно с помощью инфракрасного термометра типа G-300.

Бактериологические и химические анализы проводились сотрудниками Ташкентского областного ЦСЭК.

4.10. Результаты производственных испытаний экспериментальной установки для проточной обработки питьевой воды озоном

Производственные испытания проводились 22 и 23 сентября 2020 года на насосной станции питьевой воды ООО “Тошкент сув таъминоти” Кибрайского района. Анализ результатов исследований процесса обеззараживания воды открытых водоемов (таблица 4.6) и артезианских скважин (таблица 4.7.) показывает, что наилучший процесс обеззараживания наблюдается при биполярной зарядке водной аэрозоли.

Таблица 4.6

Результаты бактериологического анализа воды открытого водоема обработанной озоном

№ п.п	Наименование образца	Вид обработки	ТКБ, КОЕ в 100 мл	ОКБ, КОЕ в 100 мл	Патогенные микробы, в том числе сальмонеллы
1.	Улица Кургазма Вода канала Бозсу до обработки	Контроль	585	8955	Не обнаружено
2	Улица Кургазма Вода канала Бозсу после обработки	Обычное распыление	370	7982	Не обнаружено
3	Улица Кургазма Вода канала Бозсу после обработки	(+) аэрозоль	207	575	Не обнаружено
4	Улица Кургазма Вода канала Бозсу после обработки	(-,+) аэрозоль	117	275	Не обнаружено
5	Улица Кургазма Вода канала Бозсу после обработки	(-) аэрозоль	153	252	Не обнаружено

Таблица 4.7.

Результаты бактериологического анализа воды артезианской скважины обработанной озоном

№ п. п.	Наименование образца	Вид обработки	Общее микробное число в 1,0	ИТБГ (остатки)	Патогенные микробы, в том числе сальмонеллы
1.	Вода взята из 29 участка перед обработкой	Контроль	ОМЧ=роста нет	к/и=7	Не обнаружено
2	Вода взята из 29 участка после обработкой	Обычное распыление	ОМЧ=роста нет	к/и=4	Не обнаружено
3	Вода взята из 29 участка перед обработкой	Контроль	ОМЧ=роста нет	к/и=менее 3	Не обнаружено
4	Вода взята из 29 участка после обработкой	(-,+) аэрозоль	ОМЧ=роста нет	к/и=менее 3	Не обнаружено
5	Вода взята из 29 участка перед обработкой	Контроль	ОМЧ= 100	к/и=9	Не обнаружено
6	Вода взята из 29 участка после обработкой	(-) аэрозоль	ОМЧ=роста нет	к/и=менее 3	Не обнаружено
7	Вода взята из 29 участка перед обработкой	Контроль	ОМЧ=роста нет	к/и=4	Не обнаружено
8	Вода взята из 29 участка после обработкой	(+) аэрозоль	ОМЧ=роста нет	к/и=менее 3	Не обнаружено

При подаче в контактную камеру незаряженной аэрозоля, обеззараживание проявляется слабо, ввиду того, что частицы аэрозоля имеют различную дисперсность. Наилучшие показатели были получены при биполярно заряженной аэрозоли, что связано с тем, что уже в контактной камере происходит взаимодействие разнополюсно заряженной аэрозоли. Это визуально наблюдаемые туманные образования в нижней части контактной камеры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Существующие способы электросинтеза озона имеют низкий энергетический к.п.д. и их использование предусматривает предварительную подготовку воздуха и охлаждение электродов и диэлектрического барьера.

2. Теоретически и экспериментально доказано, что при использовании периодических импульсов высокого напряжения с коэффициентом амплитуды более 5 резко увеличивается амплитуда напряженности электрического поля и соответственно мощность выделяемая в разрядном промежутке, одновременно резко увеличивается его проводимость с образованием низкотемпературной плазмы, сопровождаемая охлаждением промежутка и свечением в спектре ультрафиолетового излучения.

3. Разработаны устройства для питания генератора озона и других потребителей высокого напряжения периодическими и униполярными импульсами напряжения включающие электронный и машинный генератор импульсных напряжений.

4. Существующие технологии обработки питьевой воды являются периодическими и имеют низкую производительность. Нами разработана проточная технология обработки питьевой воды озоном, проведены лабораторные и производственные испытания экспериментального и опытно-промышленных образцов. Санитарно – бактериологический анализ обработанной воды показал высокую эффективность разработанного способа.

5. Установлено, что при использовании биполярно заряженной водной аэрозоли происходит вторичное взаимодействие противоположно заряженных частиц аэрозоля, которое приводит к образованию туманообразного соединения, одновременно увеличивается степень очистки питьевой воды.

6. Установлено, что в канале разряда, при питании импульсным напряжением мощность разрядной цепи генератора озона составляет 4600 Вт, а при питании синусоидальным напряжением 230 Вт. Данный факт требует тщательного теоретического и экспериментального доказательства.

7. Экономическая эффективность проточной технологии обработки питьевой воды озоном определялась по годовым эксплуатационным затратам, и для насосной станции питьевой

воды ООО “Тошкент сув таъминоти” Кибрайского района составила 74244 тыс.сум.

8. Полученные результаты исследований по диссертационной работе позволят расширить области применения озонной технологии в сельском и водном хозяйствах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Нормативно – правовые и методические издания

1. Указ Президента Республики Узбекистан УП-№4947 «О стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан», от 7 февраля 2017 года. Собрание законодательства Республики Узбекистан. Ташкент – 2017 г. с. 223-226.

2. Указ Президента Республики Узбекистан, «О мерах по совершенствованию управления водными ресурсами республики узбекистан для повышения уровня обеспеченности населения питьевой водой и улучшения ее качества». От 26.11.2019 г. № УП-5883.

3. Закон Республики Узбекистан, О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения. От 26.08.2015 г. № ЗРУ-393.).

4. Закон Республики Узбекистан, О воде и водопользовании от 06.05.1993 г. № 837-ХП.

5. Закона Республики Узбекистан О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Узбекистан в связи с углублением экономических реформ в сельском и водном хозяйстве. 25.12.2009 г. № ЗРУ-240.

6. O'zDSt 950:2000 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством». № 0200-06 от 15 мая 2006 г.

7. O'zDSt 950:2011 «Вода питевая. Технические условия». № 05-273 от 02.02.2011 г.

8. ГОСТ 24481-80. Вода питьевая. Отбор проб. От 01.01.1982 г.

9. ГОСТ 18963-73. Межгосударственный стандарт. Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа. От 07.01.1974 г.

Монографии, научные статьи, патенты, научные сборники

10. Almomani F.A. and others. Removal of emerging pharmaceuticals from wastewater by ozone-based advanced oxidation processes. // Journal Environmental Progress Sustainable Energy. Volume35, July 2016. Pp. 982-995.

11. Beata Wysock and others. Ozone as an alternative disinfectant – a review. // Polish journal of food and nutrition sciences. 2006, Vol. 15/56, No 1, pp. 3–8

12. Christopher R. Schulz, Stephen R. Lohman, Method and apparatus for ozone disinfection of water supply pipelines. Patent Application Publication: US 2005/0249631 A1. Pub. Date: Nov. 10, 2005
13. Hackenjos E. Pet. Генератор озона. Патент (ГДР). 1277218, 1969 г.
14. Huang X. and others. Coupled Cu (II)- EDTA degradation and Cu (II) removal from acidic wastewater by ozonation: performance, products and pathways. // Chemical engineering journal. 299 (2016) Pp. 23–29
15. Huang Y. and others. Catalytic ozonation of organic contaminants in petrochemical wastewater with iron-nickel foam as catalyst. // Separation and Purification Technology. Volume 211, 18 March 2019, Pp. 269-278.
16. Kushwaha J.P. and others. An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters. // Journal Critical Reviews in Food Science and Nutrition. Volume 51, 2011. Pp. 442-452.
17. Laszlo V., Jenő S. Use of ozone in the dairy industry: A review. International Journal of Dairy Technology. Volume 69, №2. May 2016. Pp. 157 – 168.
18. Lee H. and others. Degradation of chlorotetracycline and bacterial disinfection in livestock wastewater by ozone-based advanced oxidation. // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. Volume 17, Issue 3, 25 May 2011, Pp. 468-473.
19. Lee Y. and others. Prediction of micro pollutant elimination during ozonation of a hospital wastewater effluent. // Journal Water Research. Volume 64. 1 November 2014, Pp. 134-148.
20. Liu Z. and others. Ozonation of trace organic compounds in different municipal and industrial wastewaters: kinetic-based prediction of removal efficiency and ozone dose requirements. // Chemical Engineering Journal. Volume 387, 1 May 2020, 123405.
21. Luigi R., Annachiara B. and others. Influence of the electrode material on the decontamination efficacy of dielectric barrier discharge gas plasma treatments towards *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli*. // Innovative Food Science & Emerging Technologies. Volume 37, Part A, October 2016, Pp. 170-176.
22. Muzafarov Sh.M. and others. Substantiation of a method for increasing the efficiency of the electrosynthesis of ozone by using periodic voltage pulses. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012049

23. Muzafarov Sh.M. and others. Analysis of processes in the supply chain of ozone generator by sinusoidal and pulse voltage. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 614 (2020) 012021
24. Muzafarov Sh. and other. Features of streamer form of corona discharge in respect to electric gas purification. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012050
25. Nemanič V. Hydrogen permeation barriers: Basic requirements, materials selection, deposition methods, and quality evaluation. // Nuclear Materials and Energy. Volume 19, May 2019, Pp. 451-457
26. Shrivastava A.K., Selection of dielectric material for producing diffuse dielectric barrier discharge plasma at atmospheric pressure. // Materials today: PROCEEDINGS International Conference on Nanotechnology: Ideas, Innovations & Initiatives-2017. Volume 18, Part 3, 2019, Pp. 1033-1038.
27. Sivrioglu O., Yonar T. Determination of the acute toxicities of physicochemical pretreatment and advanced oxidation processes applied to dairy effluents on activated sludge. // Journal of Dairy Science. Volume 98, Issue 4, April 2015, Pages 2337-2344.
28. Starikovskaia S., Allegraud K. and others. On electric field measurements in surface dielectric barrier discharge. // Journal of Physics Applied Physics 43(12), March 2010. Periodical.
29. Suarasan I., Ghizdavu L. and others. Experimental characterization of multioint corona discharge devices for direct ozonization of liquids. // Journal of Electrostatics Volume 54, Issue 2, February 2002, Pp. 207-214.
30. Talaat M. Electrostatic field calculation in air gaps with a transverse layer of dielectric barrier. // Journal of Electrostatics. Volume 72, Issue 5, October 2014, Pp. 422-427.
31. World Health Organization (2019). 1 in 3 people globally do not have access to safe drinking water – UNICEF, WHO. New York, Geneva, WHO Press, Available: www.who.int. Accessed 2019, jun 18.
32. Абрамов Н.Н. «Водоснабжение» // М.: «Стройиздат», 1982. с. 480.
33. Абджабборов А.А., Охунбобоева Ч.З. Алгоритмизация задачи параметрической оптимизации в условиях неопределенности целей. // «Қишлоқ ва сув хўжалигининг замонавий муаммолари» мавзусидаги анъанавий XV- ёш олимлар, магистрантлар ва иқтидорли талабаларнинг илмий-амалий анжуман мақолалар тўплами. II-қисм. ТИМИ. Ташкент – 2016 г. с.192-195.

34. Андреев В.В. и др. Исследование эффективности плазмохимических генераторов озона на барьерном разряде в воздухе при атмосферном давлении. Вопросы атомной науки и техники. // Сборник статей. Выпуск №4. 2011 г.

35. Аугамбаев М., Иванов А., Терехов Ю. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента. // Учебное пособие.- Ташкент.: Укитувчи, 2007. с. 336

36. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. // М.:Высшая школа.- 1978. с. 319.

37. Бабаев А.Г. Получение и использование озона в сельском хозяйстве “Қишлов ва сув хўжалиги ишлаб чиқариши учун юқори малакали кадрлар тайёрлаш муаммолари” мавзусидаги Республика илмий – амалий анжуман маърузалар тўплами I-қисм. // ТИМИ. Тошкент-2009. с. 327-329.

38. Бабаев А.Г. Применение озона при хранении фруктов и овощей. “Проблемы инновационного и конкурентоспособного развития агроинженерной науки на современном этапе” сборник научных трудов материалов международной научно-практической конференции. // КазНАУ 2008. I-часть, с. 204-206

39. Бойко Н.И., Борцов А.В., Иваненко А.И. Установка для получения импульсного коронного разряда с расширенной зоной ионизации и анализ выхода озона. // Материалы 1-ой Всероссийской конференции «Озон и другие экологически чистые окислители». МГУ, Москва – 2005 г. с.141.

40. Волошин С.П., и другие. Особенности применения генераторов озона в сельском хозяйстве. // Международный научный журнал «Инновационная наука». №7-8. Краснодар-2016, с. 35-37.

41. Демирчян К.С. и др. Теоретические основы электротехники. // В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. – 4-е изд. / – СПб.: Питер, 2003. с. 463

42. Егорова Г.В., Вобликова В.А., Сабитова Л.В., Ткаченко И.С., Ткаченко С.Н., Лунин В.В. О растворимости озона в воде. // Журнал Вестник Московского университета. Серия 2: Химия, издательство Издательский дом МГУ. Москва – 2009 г., том 56, №5.

43. Исаев Ю.Н., Колчанова В.А. и др. Алгоритм определения параметров электротехнической схемы замещения озонатора при воздействии импульсного напряжения. // Журнал “Известия Томского политехнического университета”. Томск – 2006 г. Т. 309. №1.

44. Кабиљджанов А.С. Нечеткая аппроксимация в задачах оптимального параметрического синтеза технических объектов. // Журнал «Проблемы информатики и энергетики». №5. Ташкент – 2016 г. с. 23-32.
45. Калинин В.Г. и др. Перспективные системы электропитания пылеулавливающих электрофильтров тепловых электростанций. // Электричество, 2000 г., № 8. с.50–55.
46. Каллуэй Дж. Теория энергетической зонной структуры. // Издательство «Мир», Москва – 1969 г. с. 360.
47. Камарова Л.Ф., Кормина Л.А. Инженерные методы защиты окружающей среды. // Учебное пособие. Изд. «Алтай». Баранаул – 2000 г. с. 388.
48. Ключарев А.Н., Мишаков В.Г., Тимофеев Н.А. Введение в физику низкотемпературной плазмы. Изд-во СПбГУ, Санкт-Петербург -2008. с. 224.
49. Ковалёва М.А., Валошин С.Б. Анализ данных. // Изд. «Мир науки». Москва – 2019 г. с.129.
50. Ковальчук О.Б., Кудабаев Б.Б. Шубин Б.Г. Устройство для получения озона. Патент РФ №2179150 кл. С 02 В 13/11. 2002 г.
51. Коробцев С.В., Медведев Д.Д., Ширяевский В.Л. Получение озона в коронном разряде на неосушенном воздухе. // Материалы 25-го Всероссийского семинара «Озон и другие экологически чистые окислители». МГУ, Москва – 2003 г. с. 31-35.
52. Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Физика импульсного пробоя газов. // М.: Наука. Гл.ред. физ.мат. лит., 1991. с. 224.
53. Ли Пэйго. Исследование электрических характеристик барьерного озонатора с учетом тепловых процессов. // Автореферат. Москва-1998.
54. Лунин В.В. и др. Физическая химия озона. // Книга. Изд. ООО "МАКС Пресс". Москва – 2019г. с. 540
55. Лунин В.В. и др. Теория и практика получения и применения озона. Монография. Издательство Московского университета, Москва-2016. с. 416.
56. Махмудова И.М., Салохиддинов А.Т. Кишлок ва яйловлар сув таъминоти. // Дарслик. ТИКХММИ, Тошкент 2001. 108 б.
57. Медведев Д.Д. Устройство для генерации озона при помощи импульсного барьерного разряда. Патент № 2357921. С2. С01В 13/11 (2006.01).

58. Меледина Т.В., Данина М.М. Методы планирования и обработки результатов научных исследований. // Учебное пособие. Санкт-Петербург 2015 г. с. 103.

59. Морев С.Н. Озонатор. Патент РФ № 94020646 А1. 1996 г.

60. Музафаров Ш.М., Эркинов Б.Н. Характеристики машинного генератора периодических импульсов напряжения // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент – 2009 г. №3-4. с. 275–277.

61. Музафаров Ш.М. Электрофизические процессы в технологических разрядных промежутках при питании импульсным напряжением. // Журнал Проблемы информатики и энергетики. Ташкент, 2013. – № 3–4. – с. 34–37.

62. Музафаров Ш.М., Батырова Л.А., Бабаев А.Г. Анализ процессов в цепи питания генератора озона синусоидальным и импульсным напряжением. // Журнал «Проблемы информатики и энергетики», №1. Издательство «Fan va technology», Ташкент-2017 г. с. 105.

63. Музафаров Ш.М., Эркинов Б., Пардаев А. Стабилизация разрядных процессов в электрических полях электрофильтров. // Журнал «Ирригация ва мелиорация», №3 сон. ТИКХММИ-2020 й. с. 73-77.

64. Музафаров Ш.М., Батырова Л.А. и Бабаев А.Г. Повышение эффективности процесса электросинтеза озона. // Международный научный сельскохозяйственный журнал. Волгоград 2018 г. Т.1. №2. с. 53-60.

65. Нго Куи Куен. Усовершенствование технологии очистки водно-щелочного потока стадии получения стирола гидропероксидным методом. // Диссертация. Казань. 2015г. с. 28-29.

66. Оськин С.В. Электротехнологии в сельском хозяйстве. // Учебник. Краснодар, 2016 г. с. 501.

67. Переводчиков В.И. и др. Источники знакопеременного, импульсного и импульсно-знакопеременного питания электрофильтров // Электрические станции. 2003.–№ 1. с. 56–61.

68. Пичугин Ю.П. Высокопроизводительный безбарьерный озонаторный комплекс. // Материалы 32-го Всероссийского семинара «Озон и другие экологически чистые окислители. наука и технологии». Москва, 2012 г. с. 109.

69. Пичугин Ю.П. и др. Устройство и работа высоко ресурсных генераторов озона. // Первая всероссийская конференция «Озон и другие экологически чистые окислители. наука и технологии»,

посвященная 250-летию МГУ им. М.В.Ломоносова. Москва, 7 – 9 июня 2005 г. с. 260.

70. Пономарев В.Б., Лошкарев А.Б. Математическое моделирование технологических процессов. Курс лекций. Екатеринбург 2006г. с. 114.

71. Попов С.Н., Щербаков А.В. Силовая схема источника импульсного питания электрофильтра. // Сборник научных трудов ФГУП ВЭИ им. В.И.Ленина под ред. В.Д.Ковалева. Высоковольтная и преобразовательная техника.- Москва, 2001. с. 123–136.

72. Пригожин В.И. Создание высокоэффективных аппаратов и процессов для получения и использования озона в промышленности. // Автореферат. Тамбов-2007 г.

73. Раджабов А., Ибрагимов М., Бердышев А.С. Обеззараживание и доочистка сточных вод животноводческих комплексов и ферм электроозонированием. // Монография. ТИИИМСХ. Ташкент – 2019. с. 98.

74. Раджабов А., Музафаров Ш.М. Анализ схем генерирования униполярных импульсов высокого напряжения для питания электрофильтров. // Научно -технический журнал «Международная агроинженерия», выпуск №4. Алмата – 2012. с. 56-53

75. Раджабов А.Р., Музафаров Ш.М. О необходимости использования стримерной формы коронного разряда в процессах электрогазоочистки. // Журнал Международная агроинженерия. №3. Алматы – 2012 г. с. 65–70.

76. Романовский В. И. и другие. Дезинфекция озоном водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения. // Труды БГТУ. №3. Химия и технология неорганических веществ. Минск – 2013 г. с. 55-60

Другая использованная литература и источники информации

77. Садилов К.Г., Фатыхов Р.А. Устройство электропитания генератора озона. Патент РФ 2263628, С01В13/11. 2003 г.

78. Санитарные правила и нормы, гигиенические нормативы республики узбекистан. СанПиН РУз № 0318-15. Издание официальное. Ташкент-2015 г.

79. Силкин Е. Синтез озона в электрических разрядах и повышение его эффективности. // Журнал «Компоненты и технологии» №6, 2008. с. 136 – 143.

80. Станкевич Г.Н., Бабков А.В. Озон в технологиях обработки и хранения зерна пшеницы. // Монография. Херсон: Издатель Гринь Д.С., 2015. с. 268 ISBN 978-966-930-051-5

81. Филиппов Ю.В., Вобликова В.А., Пантелеев В.И. Электросинтез озона. Учебное пособие. // Издательство московского университета 1987 г. с. 237.

82. Шарыгин И.В. Влияние озонированной и ультрафиолетом облучённой аутокрови на иммунобиохимические показатели телят, больных катаральной бронхопневмонией. // Автореферат. Екатеринбург 2007 г. с. 20.

83. Шиманович С.Л. и др. Экологически безопасные озонные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. // Журнал. Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. №3. 2006 г. с. 132

84. Щербаков А.В. Агрегаты питания электрофильтров и реакционных камер, на основе электронно-лучевых вентилях // Сборник докладов второй международной конференции «Пылегазоочистка-2009», Москва – 2009 г. с. 125–129.

85. Щербаков А.В. Научно-технические основы создания систем питания высоковольтных устройств пыле-и газоочистки на основе электронно-лучевых вентилях и газоразрядных приборов. // Автореферат диссертации д.т.н. Москва- 2010 г. с. 24.

86. Щербаков А.В. Перспективные источники знакопеременного и импульсного питания электрофильтра и реакторной камеры // ЭЛЕКТРО. 2006. № 5. с. 16–20.

87. Эркинов Б.Н. Расчет параметров машинного генератора для системы электрофильтров хлопкоочистительных заводов // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2009. №3-4. с. 93–95.

Интернет материалы

88. <http://www.osmonics.com.my/> Рекламные материалы фирмы «Osmonics».

89. <https://tmn-72.ru/info/articles/vodopodgotovka/pokazateli-kachestva-vody-i-ikh-opredelenie/>

90. https://www.water.ru/bz/param/common_mineral.php

91. <https://www.chem21.info/page/09724505110513110900021706523310411713>

92. <https://orion-si.ru/stati/istoriya-ozona.html>
93. <https://www.suezwatertechnologies.com/products/disinfection-oxidation/ozonia-ozone-systems>,
94. <https://kurgankhimmash.ru/about/media/9.html>

Приложение 1.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ И МЕЛИОРАЦИИ

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по научным
исследованиям ТИИМ, д.т.н.
Т.З.Султанов
« » 2017 г

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на проектирование, разработку и изготовление экспериментального
образца установки для обеззараживания питьевой воды озоном

Начальник отдела научных
исследований и подготовки
научно-педагогических кадров,
д.с.х.н., доцент

 С.Х.Исаев

Руководитель Государственного
гранта КХА-9-111-2015, доцент ТИИМ,
к.т.н.

 Ш.М.Музафаров

Ташкент 2017 г.

ВВЕДЕНИЕ

«Техническое задание на проектирование, разработку и изготовление экспериментального образца установки для обеззараживания питьевой воды озоном» разработано по программе выполнения Государственного гранта КХА-9-111-2015 на тему «Повышение эффективности процесса электросинтеза озона»

Существующая технология электросинтеза озона предусматривает очистку, охлаждение, сушку воздуха перед подачей в генератор озона. Кроме этого, ввиду нагрева диэлектрических барьеров, предусматривается охлаждение проточной водой электродов. С повышением температуры резко снижается процесс электросинтеза озона. Перечисленные особенности существующих устройств электросинтеза озона являются причиной препятствующими их более широкому использованию.

Обычно в генераторах озона (ГО) используются высокие синусоидальные напряжения. Наибольший выход озона наблюдается на частоте 500 Гц.

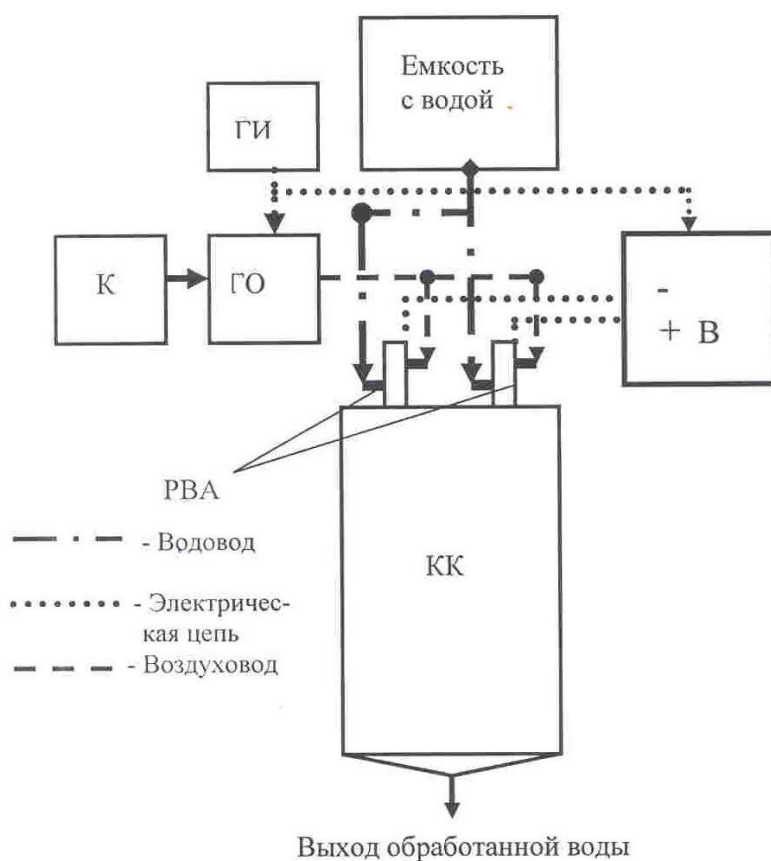


Рис.1. Технологическая схема проточной обработки воды озоном: К – компрессор; ГИ – генератор периодических импульсов напряжения; ГО – генератор; В – выпрямитель; КК – контактная камера; РВА – распылитель водной аэрозоли

Приложение 1.

Проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями, что повышения эффективности электросинтеза озона и снижения эффекта нагревания барьера получено при питании генераторов озона (ГО) периодическими импульсами высокого напряжения прямоугольной формы большой скважности. Анализ этих исследований показал, что при использовании импульсных напряжений большой скважности можно синтезировать озон в разрядном промежутке без использования диэлектрического барьера.

Существующие способы обработки воды озоном имеют периодическое действие. Обработка производится в контактной емкости, в которой производится диспергирование озоносодержащего воздуха. Разработанный способ обработки предусматривает процесс проточной обработки воды. Этот способ предусматривает двукратную обработку: Процесс обработки питьевой воды озоном предусматривает двукратное воздействие озоном на воду: обработка в процессе распыления воды с использованием озоносодержащего воздуха распылителем с индукционной зарядкой водной аэрозолью для обеспечения необходимой дисперсности и однородности; обработка в контактной камере, куда поступает озоносодержащий воздух и аэрозоль (рис. 1).

1. Наименование и назначение устройства

1.1. Наименование устройства: экспериментальная установка для обеззараживания питьевой воды озоном

1.2. Назначение устройства: исследование и производственные испытания способа проточной обработки питьевой воды озоном.

1.3. Области применения устройства: Обеззараживание, дезодорация питьевой воды, обработка овощей и фруктов перед закладкой на хранение и во время хранения, обеззараживание стоков животноводческих ферм, обработка растений защищенного грунта и др.

2. Основание для разработки

2.1. Государственный грант КХА-9-111-2015 на тему «Повышение эффективности процесса электросинтеза озона».

3. Цель и задачи разработки

3.1. Цель разработки: определение технологических параметров процесса проточного обеззараживания питьевой воды при трех видах распыления водной аэрозоли: распыление отрицательно заряженной водной аэрозолью; распыление положительно заряженной водной аэрозолью; распыление отрицательно и положительно заряженной водной аэрозолью с помощью двух распылителей.

Приложение 1.

3.2. **Задачи разработки:** Разработка эффективного устройства для обеззараживания питьевой воды озона, обеспечивающий высокую степень обеззараживания, высокий к.п.д., упрощения технологической схемы.

3.3. Замена традиционного химического способа обеззараживания воды, жидких стоков животноводческих ферм, повышение сохранности и качества овощей и фруктов при длительном хранении.

4. Источники для производства

4.1. Теоретический анализ процесса электрического разряда в газах при питании периодическими импульсами напряжения большой скважности

4.2. Результаты экспериментальных исследований влияния периодических импульсов напряжения на процесс электросинтеза озона.

5. Технические требования

5.1. Устройство и параметры установки для обеззараживания питьевой воды

№ п.п.	Основные элементы установки	Кол-во	Назначение и параметры
1.	Источник питания отрицательным и положительным высоким напряжением распылителей воды	2	Предназначен для питания распылителей воды постоянным и импульсным высоким напряжением до 10 кВ и мощностью 20 Вт.
2.	Распылитель водной аэрозоли	2	Предназначен для формирования двух струй водной аэрозоли положительной и отрицательной полярности при распылении озоносодержащим воздухом
3.	Генератор озона	1	Служит для электросинтеза озона. Имеет плоские электроды. Общая площадь потенциальных электродов 0.125 м ² , заземленных – 0.18 м ² .
4.	Компрессор с регулируемой производительностью по воздуху	1	Предназначен для подачи воздуха в генератор озона, распылители водной аэрозоли и в контактную камеру.
5.	Повышающий трансформатор. с выходом не менее 10 кВ.	1	Предназначен для повышения напряжения и подачи на генератор озона, с выходом не менее 10 кВ и мощностью 200 Вт и питания выпрямителя высокого напряжения.
6.	Контактная камера	1	Предназначена для обработки водной аэрозоли озоном. Высота камеры 1.5 м. Периметр основания 2.8 м.

6. Требования к условиям использования

6.1. Экспериментальный образец установки для обработки питьевой воды озоном разрабатывается для экспериментального определения

Приложение 1.

технологических параметров процесса. Исходя из этого необходимо предусмотреть регулирование подачи воздуха и воды, регулировать величину напряжения на распылителях и напряжения подаваемого на генератор озона. Определить необходимое время обработки водной аэрозоли в контактной камере.

7. Требования к безопасности

7.1. Наличие в схеме конденсаторов большой емкости, требует подключения к их выводам гасящих резисторов сопротивление не менее 10 МОм.

7.2. При использовании источника повышающий трансформатор должен устанавливаться за ограждающей сеткой или в закрытом корпусе снабженного блокировками, исключающими попадание обслуживающего персонала по высокому напряжению.

7.3. Ввиду превышения концентрации озона ПДК, использование источника производится либо в хорошо проветриваемых помещениях или должна снабжаться вытяжной вентиляцией.

8. Эстетические и эргономические требования

8.1. Ввиду того, что установка разрабатывается для проведения экспериментальных исследований, жесткие эстетические и эргономические требования можно не предъявлять.

9. Требования к «патентной чистоте»

9.1. Планируемые исследования установки для проточной обработки питьевой воды озоном не имеет аналогов в Республике и за рубежом. По результатам исследований будет подана заявки на изобретение.

10. Устройство генераторов озона

Генератор озона для экспериментального образца, ввиду простоты изготовления, будет использован с плоскими электродами. Общая площадь потенциальных электродов должна быть не менее 0.125 м^2 (рис.2). Электроды изготавливаются из листов нержавеющей стали толщиной 1 мм. Размер заземленных электродов 300x100 мм. Размер потенциальных электродов 250x100 мм. Боковые крышки – оргстекло толщиной 10 мм. Основание – оргстекло толщиной 5 мм. В боковые крышки вмонтированы штуцеры для подачи и выхода воздуха.

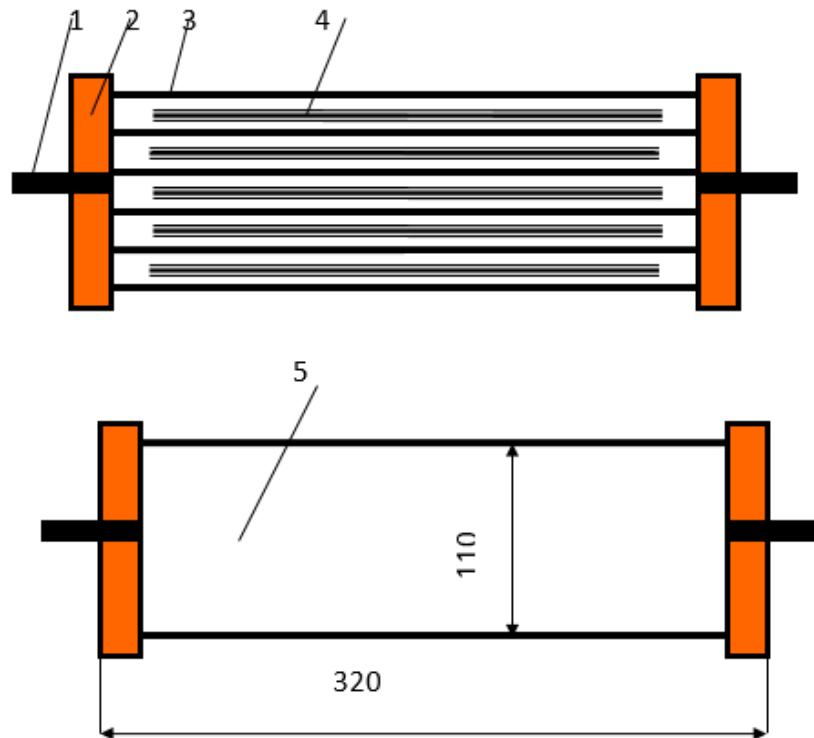


Рис.2 Эскиз генератора озона с плоскими электродами:
 1 – штуцер; 2 – боковая крышка, оргстекло; 3 – заземленный электрод, 300x100 мм, нержавеющая сталь толщиной 1 мм; 4 – потенциальный электрод, 250x100 мм, нержавеющая сталь, покрытые диэлектрическим барьером в виде селитратного стекла толщиной 3 мм; 5 – основание генератора озона, 300x110 мм, оргстекло, толщиной 5 мм

10. Каркас контактной камеры

Каркас контактной камеры изготавливается из поливинилхлоридных (ПХВ) диаметром 25 мм (рис.3), тройников и муфт 45°. Соединение элементов каркаса осуществляется методом нагревания. Высота корпуса 1.5 м. Периметр основания 2.8 м, из расчета покрытия контактной камеры полиэтиленовой пленкой толщиной 0.8 мм, имеющей развернутую длину также 2.8 м.

11. Распылители водной аэрозоли

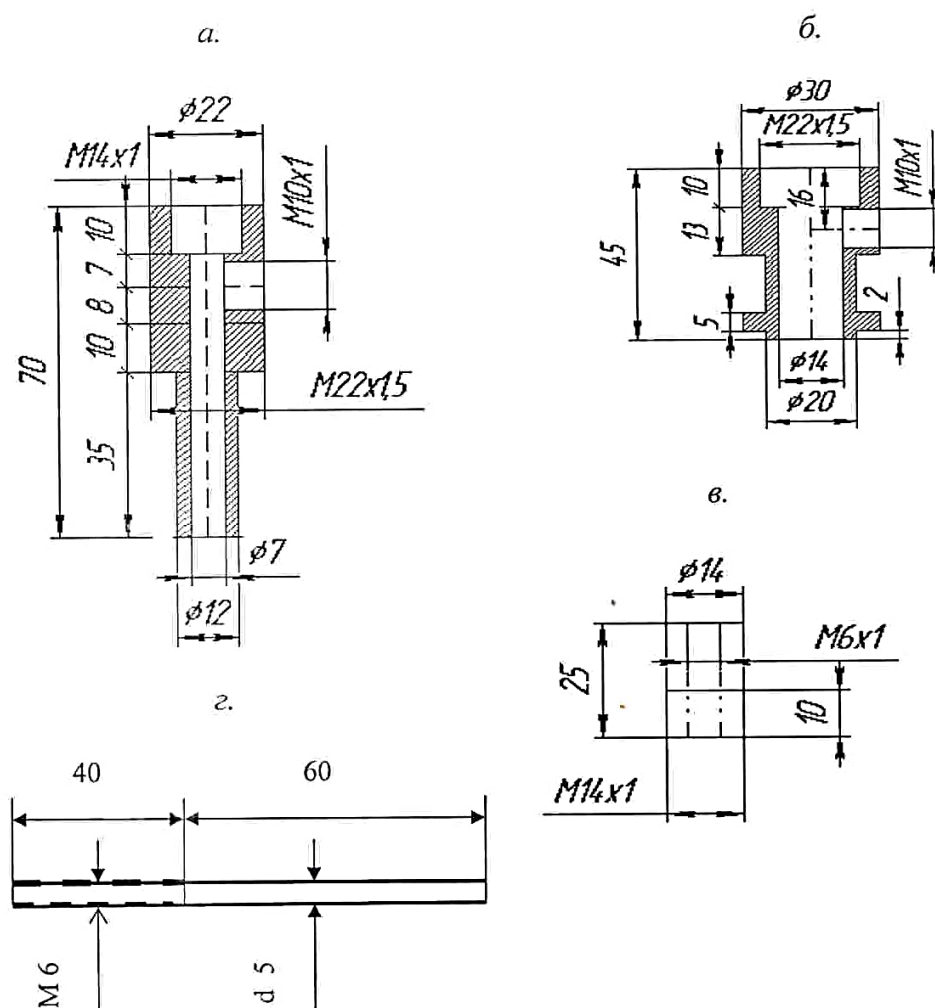


Рис. 4. Детали распылителя водной аэрозоли: *а* - внутренняя обойма, фторопласт; *б* - наружная обойма; *в* - втулка контактного стержня, нержавеющая сталь; *г* - контактный стержень

Рабочие чертежи элементов распылителя приведены на рис.4. Внутренняя и наружная обоймы распылителя выполняются из фторопласта. Втулка контактного стержня изготавливается из нержавеющей стали. Втулка контактного стержня изготавливается из нержавеющей стали. Для создания электрического поля в выемку внешней обоймы устанавливается электрод выполненный из медной фольги.

Приложение 1.

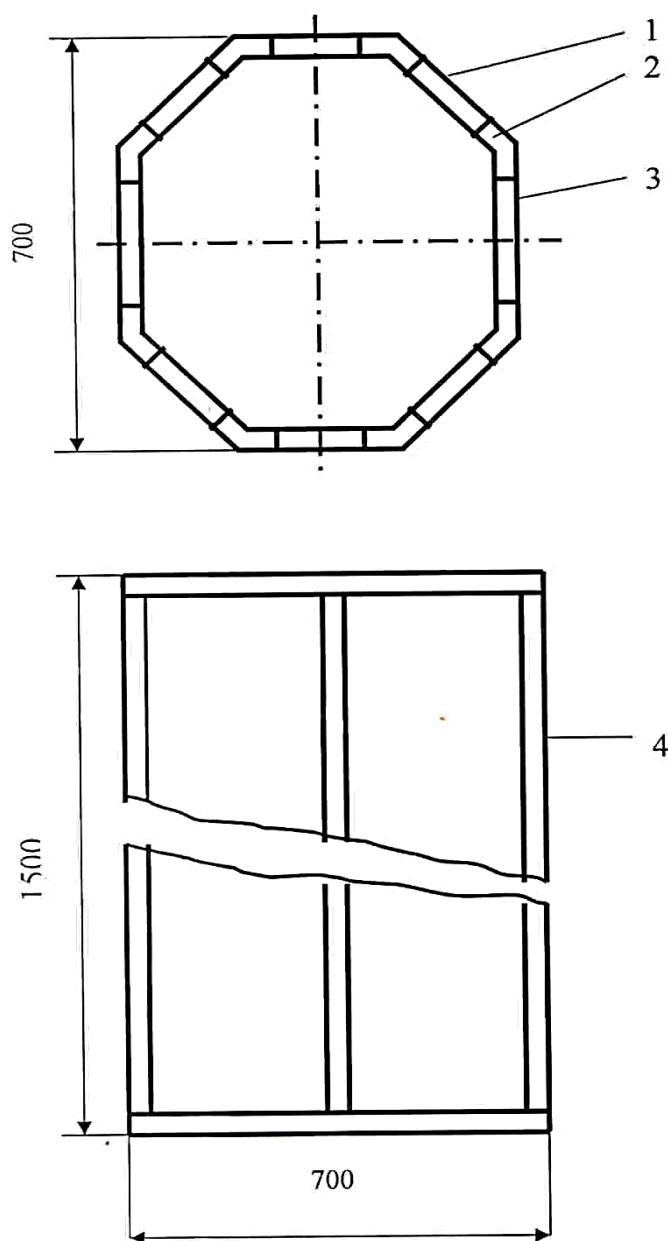


Рис. 3. Каркас контактной камеры: 1 – вставка, труба ПХВ 25 мм; 2 – соединительная муфта, ПХВ 25 мм; 3 – тройник, ПХВ 25 мм; 4 – стойка, труба ПХВ 25 мм

12. Верхней крышки контактной камеры

Верхняя крышка контактной камеры изготавливается из органического стекла толщиной 5 мм. В крышке, согласно эскиза (рис.5), сделаны 3 отверстия диаметром 20 мм для монтажа распылителей и отвода отработанного воздуха. В случае выброса через отверстие отвода аэрозоля, необходимо предусмотреть сепаратор аэрозоля.

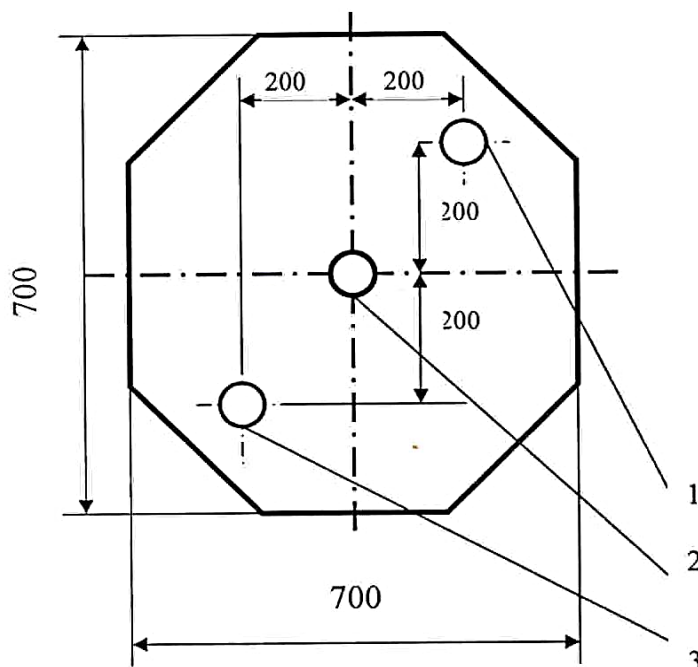


Рис.5. Эскиз верхней крышки контактной камеры (оргстекло 5 мм): 1 – отверстие для крепления распылителя отрицательно заряженной аэрозоли диаметром 20 мм; 2 – отверстие для отвода отработанного воздуха диаметром 25 мм; 3 - отверстие для крепления распылителя положительно заряженной аэрозоли диаметром 20 мм

При установке верхней крышки необходимо обеспечить герметичность соединения поддона с верхним основанием контактной камеры.

13. Поддонник контактной камеры для отвода обработанной воды

Поддонник контактной камеры для отвода обработанной воды изготавливается в виде воронки из нержавеющей стали. Для исключения выброса через отверстие озоносодержащего воздуха, необходимо установить водяной затвор. При установке поддона необходимо обеспечить герметичность соединения поддона с нижним основанием контактной камеры.

Приложение 1.

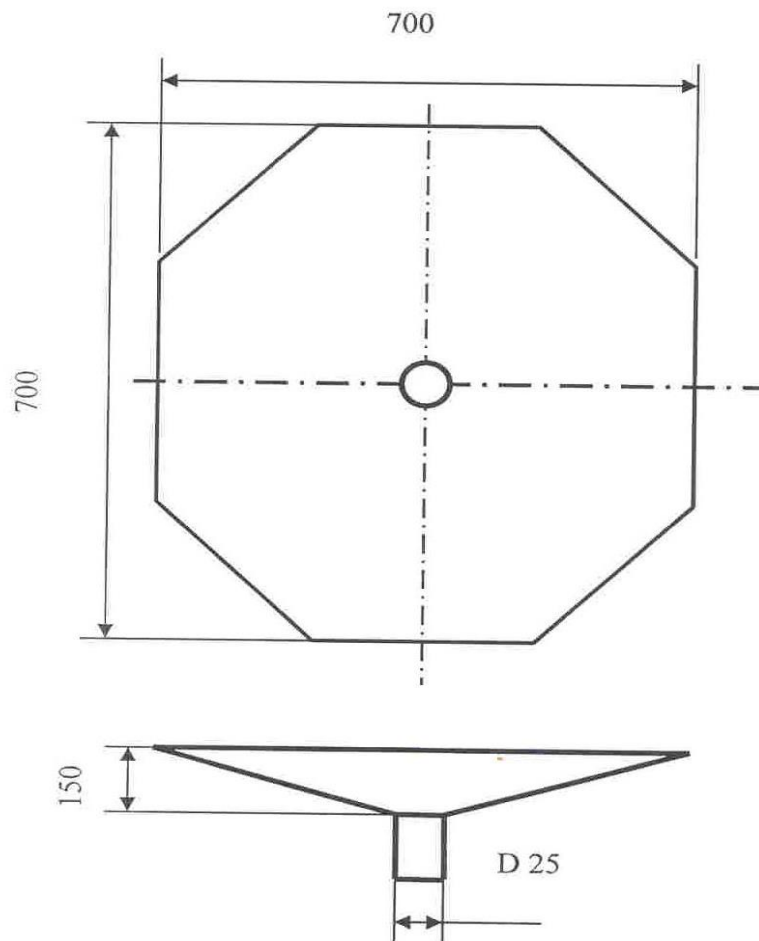


Рис.6. Поддонник контактной камеры для отвода обработанной воды

Разработчики: *Валицкий В.Е.* В.Е.Балицкий
Бабаев А.Г. А.Г.Бабаев
Батырова Л.А. Л.А.Батырова

Устройство для обработки воды озоном

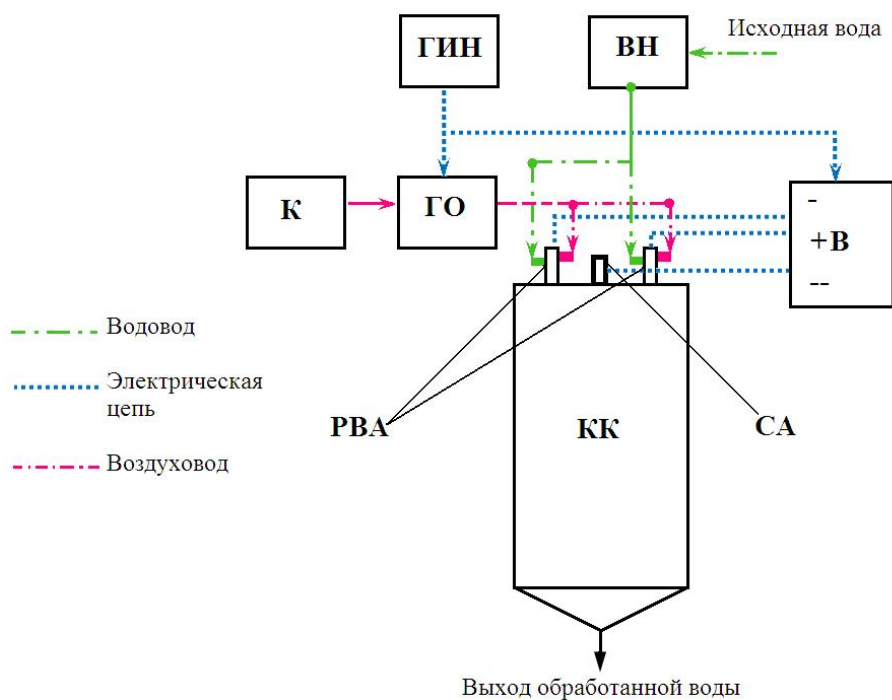


Рис. 1

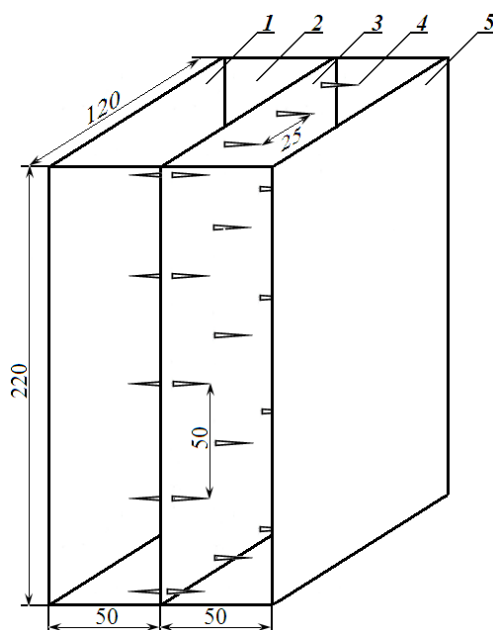


Рис.2

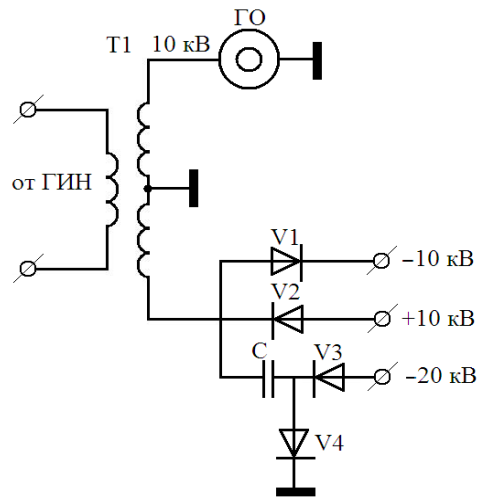


Рис. 3

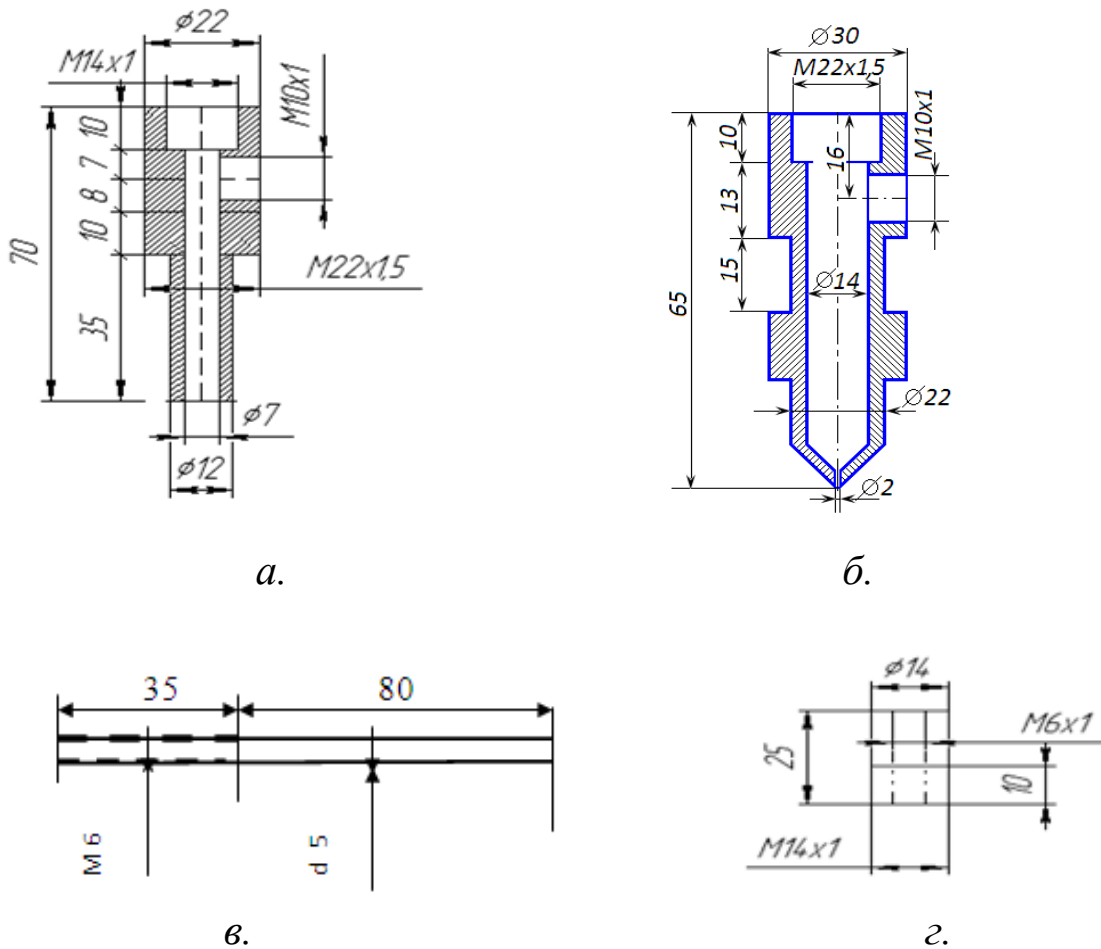


Рис. 4. Детали распылителя водной аэрозоли:
а - внутренняя обойма, (фторопласт); *б* – наружная обойма (фторопласт); *в* – втулка контактного стержня (нержавеющая сталь); *г* – контактный стержень (нержавеющая сталь)

Приложение 3.

Программный продукт расчёта алгоритма изменения напряжения разрядного промежутка в паузе между импульсами

```
uses vcl;
var
Form1,Form2: Form;
ListBox1: ListBox;
Edit5: Edit;
Button1,Button2,Button3: Button;

procedure Button1OnClick;
begin
form2.show
end;
procedure Button2OnClick;
var
l,r_obm,c_pn,ua,ia,t,p1,p2,u_c2cv: real;
su_c2cv,st:string;
begin

ListBox1.items.clear ;
Edit5.text:='Время интегрирования(s):'+ Напряжения(кв):';
l:=7; r_obm:=37;
c_pn:=0.0000001; ua:=20000;
ia:=0.0001; t:=0;
p1:=(-c_pn*r_obm+sqrt(sqr(c_pn*r_obm)-4*1*sqr(c_pn)))/(2*1*c_pn);
p2:=(-c_pn*r_obm-sqrt(sqr(c_pn*r_obm)-4*1*sqr(c_pn)))/(2*1*c_pn);
u_c2cv:=((p2*ua-ia)*p1*exp(p1*t)-(p1*ua-ia)*p2*exp(p2*t))/(p1-p2);
str(t:5:3,st);
str(u_c2cv/1000:20:18,su_c2cv);
ListBox1.items.add(st+' s '+su_c2cv+' kv');
while abs(u_c2cv)>0.00009999999999992955387999 do begin
t:=t+2;
u_c2cv:=((p2*ua-ia)*p1*exp(p1*t)-(p1*ua-ia)*p2*exp(p2*t))/(p1-p2);
str(t/1000:5:3,st);
str(u_c2cv/1000:20:18,su_c2cv);
ListBox1.items.add(st+' s '+su_c2cv+' kv');
```

```
if t=8 then break;
end;
end;
```

```
procedure Button3OnClick;
begin
Form1.close;
end;
```

```
procedure InitControls;
begin
Form1:= Form.Create(0,0,1000,650);
Form1.InitControl(True,False,alNone,crDefault,clSkyBlue,'Программа
расчета процесса изменения напряжения разрядного промежутка в
паузе между импульсами,');
Form1.Position:= poScreenCenter;
Form2:= Form.Create(0,0,1300,700);
Form2.InitControl(True,False,alNone,crDefault,clSkyBlue,'Программа
расчета процесса изменения напряжения разрядного промежутка в
паузе между импульсами,');
Form2.Position:= poScreenCenter;
Edit5:= Edit.Create(Form2,20,10,1250,30);
Edit5.InitControl(True,True,alNone,crDefault,clWindow,,"");
Listbox1:=Listbox.create(Form2,20,40,1250,550);
ListBox1.InitControl(True,True,alNone,crDefault,clWindow,,"");
Button1:= Button.Create(Form1,100,250,750,60);
Button1.InitControl(True,True,alNone,crDefault,0,'Программа расчета
процесса изменения напряжения разрядного промежутка в паузе
между импульсами,');
Button2:= Button.Create(Form2,20,610,100,30);
Button2.InitControl(True,True,alNone,crDefault,0,'Вычислить,');
Button3:= Button.Create(Form2,240,610,100,30);
Button3.InitControl(True,True,alNone,crDefault,0,'Выход,');
Form2.Font.Size:= 12;
Edit5.Font.Size:=11;
Button1.Font.Size:= 16;
Button2.Font.Size:= 12;
Button3.Font.Size:= 12;
Listbox1.Font.Size:= 12;
```

```

Form2.Font.Name:='Times New Roman';
Edit5.Font.Name:='Times New Roman';
Button1.Font.Name:='Times New Roman';
Button2.Font.Name:='Times New Roman';
Button3.Font.Name:='Times New Roman';
Listbox1.Font.Name:='Times New Roman';
Button1.OnClick:=Button1OnClick;
Button2.OnClick:=Button2OnClick;
Button3.OnClick:=Button3OnClick;
Form1.Show;
end;
begin
InitControls;
end.

```

Время интегрирования(s): Напряжения(кВ):

0.000	s	-0.0000001000000000003	kv
0.002	s	0.517257192969901824	kv
0.004	s	0.489916758442560576	kv
0.006	s	0.464008183636337088	kv
0.008	s	0.439469747860987904	kv

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение		
ГЛАВА I. Анализ состояния вопроса электросинтеза озона и проблем очистки и обеззараживания питьевой воды		
1.1.	Функции сельскохозяйственного водоснабжения, его принципиальные схемы и системы	
1.2.	Качество воды. Требования к качеству питьевой воды.....	
1.3.	Свойства озона и области применения	
1.4.	Конструкции озонаторов	
1.5.	Источники питания генераторов озона	
1.6.	Существующая технология обработки питьевой воды озоном.....	
ГЛАВА II. Теоретическое обоснование способа повышения эффективности процесса электросинтеза озона использованием периодических импульсов напряжения		
2.1.	Анализ процесса электросинтеза озона при питании синусоидальным высоким напряжением.....	
2.2.	Анализ процесса электросинтеза озона при питании периодическими импульсами высокого напряжения	
2.3.	Анализ переходных процессов в разрядном промежутке в паузе между импульсами напряжения	
2.4.	Исследование энергетических показателей импульсного и синусоидального и напряжений	
ГЛАВА III. разработка источников питания периодическими и униполярными импульсами напряжения		
3.1.	Доработка генератора периодических импульсов напряжения.....	
3.2.	Устройство блока выпрямителей.....	
3.3.	Методика экспериментальных исследований влияния параметров периодических импульсов напряжения на процесс электросинтеза озона	
3.4.	Экспериментальные результаты исследований процессов электросинтеза озона при питании импульсным напряжением	

3.5.	Экспериментальные исследования по выявлению причин нагревания диэлектрического барьера при питании синусоидальным напряжением и исследование по повышению эффективности генераторов озона при питании импульсным напряжением.....	
3.6.	Распределение напряженности электрического поля в трубчатом нагревателе и энергетические показатели озонаторов.....	
ГЛАВА IV. Разработка технологии проточной обработки питьевой воды озоном		
4.1.	Существующая технология обработки питьевой воды озоном	
4.2.	Разработка проточной технологии обработки питьевой воды озоном	
4.3.	Элементы экспериментальной установки для проточной обработки питьевой воды озоном	
4.4.	Устройство коронного сепаратора аэрозоля.....	
4.5.	Устройство экспериментального образца установки для проточной обработки питьевой воды озоном	
4.6.	Исследование параметров процесса обработки воды озоном методом электродиспергирования.....	
4.7.	Методика проведения производственных испытаний экспериментальной установки для обработки питьевой воды озоном.....	
4.8.	Результаты производственных испытаний экспериментальной установки для проточной обработки питьевой воды озоном	
4.9.	Результаты производственных испытаний опытно-промышленного образца установки для проточной обработки питьевой воды озоном.....	
4.10.	Результаты производственных испытаний экспериментальной установки для проточной обработки питьевой воды озоном.....	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....		
ПРИЛОЖЕНИЯ.....		

**БАБАЕВ АЗИЗ ГАЛИБОВИЧ
МУЗАФАРОВ ШАВКАТ МАНСУРОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ОЗОНОМ МЕТОДОМ
ЭЛЕКТРОДИСПЕРГИРОВАНИЯ**

/ МОНОГРАФИЯ /

Редактор – И.Т. Нишанбаева
Технический редактор – М.Х. Мустафаева
Компьютерная верстка – М.Ш. Фозилов

Издательская лицензия № 3991

Подписано в печать 10.11.2023 года. Формат 60x84, ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Печать офсетная. Условно-печатных листов 7.
Учетно-издательских листов 7. Тираж 100.

Издательство «Shafoat Nur Fayz»
г. Ташкент, ул. Махорат, 71

Отпечатано в типографии «Shafoat Nur Fayz»
г. Ташкент, Нодира, 19