

AGRICULTURAL ENGINEERING

МЕХАНИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

INCREASE OF EFFECTIVENESS OF THE ELECTROSYNTHESIS OZONEPROCESS

Muzafarov Sh.M.,

Batyrova L.A.,

Babaev A.G.

"Electricity supply and renewable sources of energy"
of Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization engineers the Tashkent,
Republic of Uzbekistan

Abstract. On the base of the processes analysis in the supply chain of ozone generators with sinusoidal and pulsed voltage of high duty cycle, the possibility of increasing the ozone yield, reducing losses and eliminating the heating of the dielectric barrier is revealed. The results of the analysis are confirmed by the results of experimental studies in the article.

Keywords: water disinfection technology, ozone, electrosynthesis, ozone generator, oxidizer, high voltage periodic pulses, duty cycle, frequency, pulse amplitude, ozone concentration, barrier heating.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОСИНТЕЗА ОЗОНА

Музафаров Ш.М.,

Батырова Л.А.,

Бабаев А.Г.

кафедра «Электроснабжения и возобновляемые источники энергии»
Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства,
Ташкент, Республика Узбекистан

Аннотация. В статье на основании анализа процессов в цепи питания генераторов озона синусоидальным и импульсным напряжением большой скважности выявлена возможность повышения выхода озона, снижения потерь и устранение нагревания диэлектрического барьера. Результаты анализа подтверждены результатами экспериментальных исследований

Ключевые слова: технология обеззараживания воды, озон, электросинтез, генератор озона, окислитель, периодические импульсы высокого напряжения, скважность, частота, амплитуда импульсов, концентрация озона, нагревание барьера.

С момента открытия в конце 18 века, озон вызывает неизменный интерес специалистов различного профиля и исследователей благодаря своим уникальным свойствам, в первую очередь – высокой окислительной и дезинфицирующей способности. По своим окислительным способностям озон (окислительный потенциал 2.07 В) занимает третье место среди известных окислителей, хлор (1.73 В) – восьмое, а кислород – тринадцатое. В индустриально развитых странах озон широко применяют в химической и нефтехимической, металлургической, электронной, целлюлозно-бумажной, лакокрасочной, микробиологической, пищевой промышленности, а также в машиностроении, сельском хозяйстве, медицине и коммунальном хозяйстве. Известно, что образующиеся при хлорировании воды побочные продукты являются токсичными веществами и не могут быть полностью удалены из питьевой воды. При озонировании, в отличие от хлорирования, протекают такие реакции окисления, при которых образуются нетоксичные конечные соединения. Эти соединения легко удаляются с помощью фильтрации [1].

Роль озона столь значительна, что Международная Антидиоксиновая Ассоциация (МАА) предложила оценивать степень промышленной развитости и цивилизованности государств по количеству произведенного и потребленного ими озона.

Разработка более эффективного способа электролиза позволит повысить выход озона, КПД, устранить нагрев диэлектрического барьера и упрощение процесса подготовки воздуха перед подачей в ГО, что позволит упростить технологическую схему электролиза озона и расширить сферу их использования, в частности создание бытовых приборов для обеззараживания питьевой воды, что особенно актуально для сельских населенных пунктов, фермерских хозяйств и пр.

Необходимость проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ также обусловлена отсутствием на рынке Узбекистана малогабаритных, высокопроизводительных, экономичных установок для электролиза озона. Кроме известных технологических процессов с использованием озона, интерес представляет использование озона в теплицах для обеззараживания поливной воды, борьбы с вредителями, болезнями растений, гнилостными бактериями и спорами и пр.

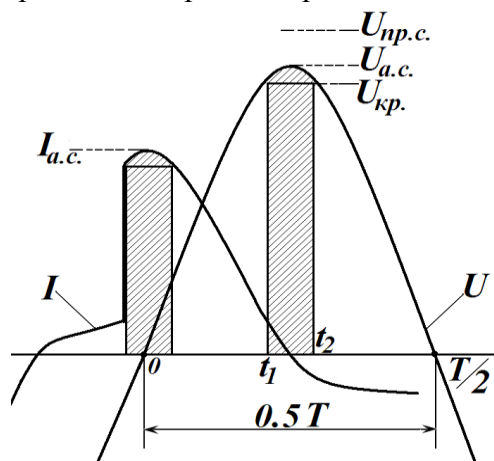


Рис.1. Усреднённые кривые мгновенного напряжения и тока через генератор озона

В существующих устройствах электролиза озона применяют синусоидальные напряжения частотой 500 Гц. При питании генератора озона от источника синусоидальной ЭДС ток i в цепи имеет сложный гармонический состав. Усредненная кривая мгновенного значения тока i содержит разрывы (рис. 1) 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 [1].

Проанализируем процесс электросинтеза озона при питании синусоидальным напряжением с использованием известной теории синусоидальных токов с подстановкой параметров соответствующих процессу барьерного разряда [2]. Общая мощность цепи питания генератора озона (ГО) равна

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

Мощность цепи во время барьерного разряда

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

В уравнениях (1) и (2)

$$u = U_{a.c} \sin \left(\omega_c t - 0.5 \right) , \quad (3)$$

$$i = I_{a.c} \sin \omega_c t , \quad (4)$$

где ω_c – угловая частота синусоидального напряжения;

u, i – мгновенные значения тока и напряжения;

$U_{a.c}$ – амплитуда 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

$$P_{ном} = P_{общ} - P_{раз} . \quad (5)$$

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). В данном случае можно повысить амплитуду питающего напряжения $U_{u.a}$ выше пробивного порога синусоидального напряжения $U_{нр.с}$, что характеризуется коэффициентом перенапряжения [3,4].

$$K = U_{u.a} / U_{нр.с} . \quad (6)$$

При импульсном питании емкость ГО заряжается до амплитудного значения напряжения, которое выше амплитуды синусоидального напряжения. В промежутке времени $0 - t_1$ (рис.2) мощность разряда определяется зависимостью

$$P_{0-t_1} = I_{a.u} \cdot U_{a.u} . \quad (7)$$

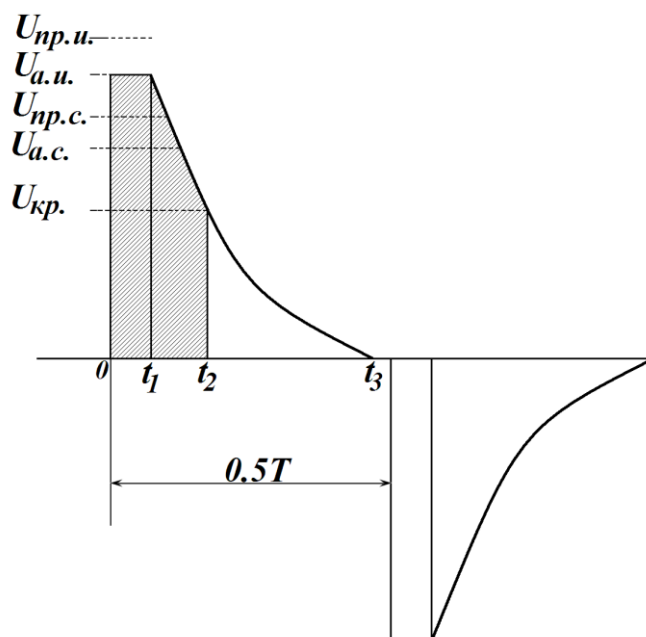


Рис.2. Процесс изменения напряжения на разрядном промежутке при питании периодическими импульсами напряжения

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 $R_{пот}$ ГО, сопротивлении $R_{обм}$ и индуктивности L вторичной обмотки повышающего трансформатора, которые являются элементами колебательного контура (рис.3). При этом ввиду того, что $R/2L < (CL)^{0.5}$ [2], в контуре имеем малое затухание, которое складывается из токов потерь на $R_{пот}$ (первое слагаемое правой части уравнения) и процесса в контуре $R_{обм}LC_{ГО}$:

$$P_{t_1-t_2} = \frac{U_{a.u.}^2}{R_{пот}} e^{-\frac{2t}{R_{пот}C_{ГО}}} + \frac{U_{a.u.}^2}{R_{обм}} e^{-\frac{tR_{обм}}{2L}} \left(\cos \omega_{к.к} t + \frac{R_{обм}}{2\omega_{к.к}} \sin \omega_{к.к} t \right). \quad (8)$$

В формуле (8) угловая частота $\omega_{к.к}$ колебательного контура определяется соотношением

$$\omega_{к.к} = \left(\frac{R_{обм}^2}{4L^2} - \frac{1}{LC_{ГО}} \right)^{0.5}. \quad (9)$$

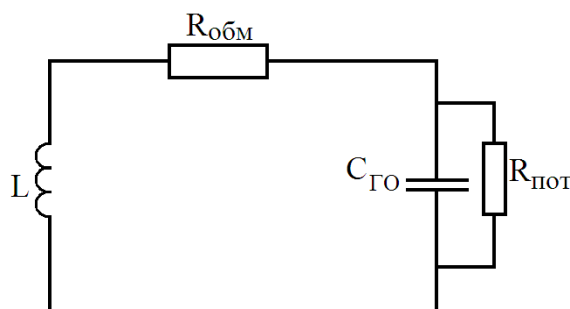


Рис.3. Схема замещения цепи питания разрядного промежутка генератора озона в паузе между импульсами

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

$$P_{t_2-t_3} = \frac{U_{a.u}^2}{R_{об.м}} e^{-\frac{tR_{об.м}}{2L}} \left(\cos \omega_{к.к} t + \frac{R_{об.м}}{2\omega_{к.к}} \sin \omega_{к.к} t \right). \quad (10)$$

Анализ уравнений (10) 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 $(R_{об.м}/2L) < (LC)$ и в контуре разряд протекает с малым затуханием. 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.

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 $(R_{об.м}/2L) < (LC)$ и в контуре разряд протекает с малым затуханием. 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.

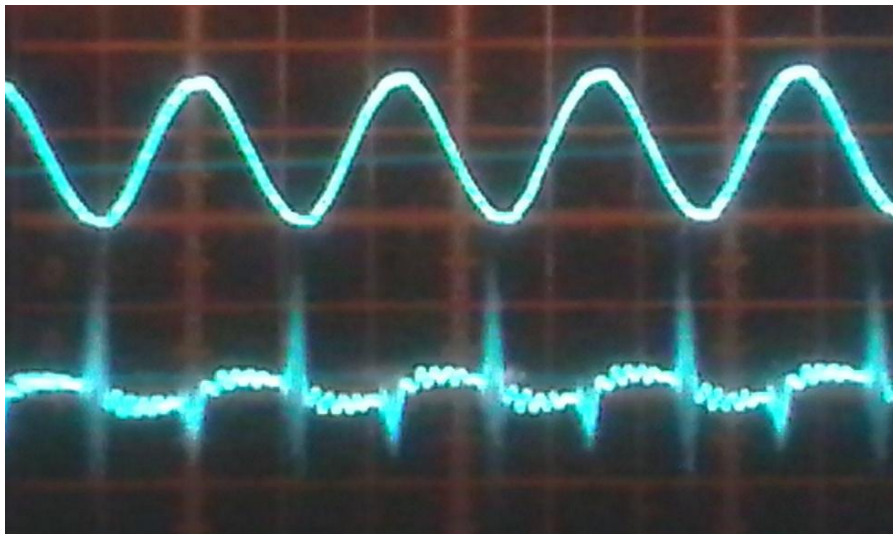


Рис. 4. Осциллограмма синусоидального напряжения (верхняя) и тока (нижняя) при питании генератора озона (развертка 0.01 с/см)

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.

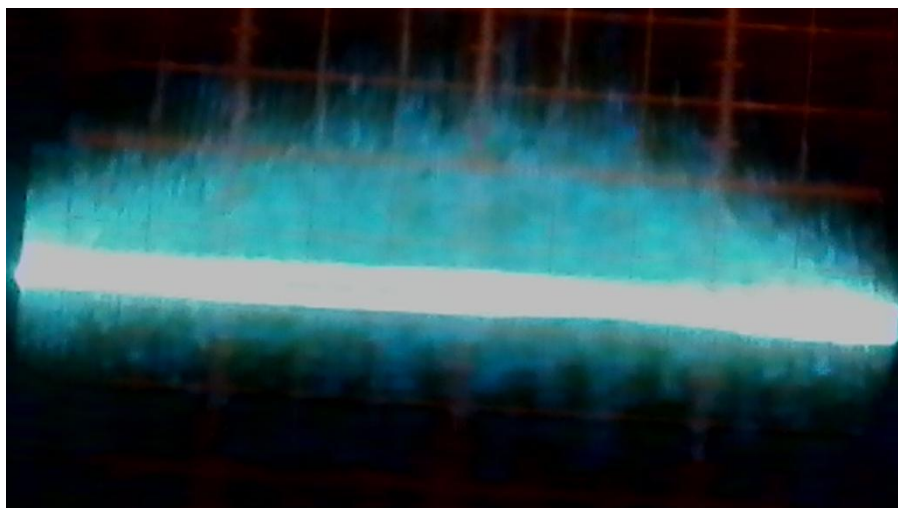


Рис. 5. Осциллограмма тока разряда при питании генератора озона синусоидальным напряжением (развертка 0.25 мс/см)

Осциллограмма напряжения и тока при питании синусоидальным напряжением приведена на рис.4. По осциллограмме тока разряда явно вырисовываются высокочастотные разряды. Для ориентировочного определения частоты разрядов была снята осциллограмма тока при развертке 0.25 мс/см (рис.5.) По осциллограмме ориентировочно определена частота этих разрядов, которой лежит в пределах 400 кГц. Это и является основной причиной нагревания диэлектрического барьера.

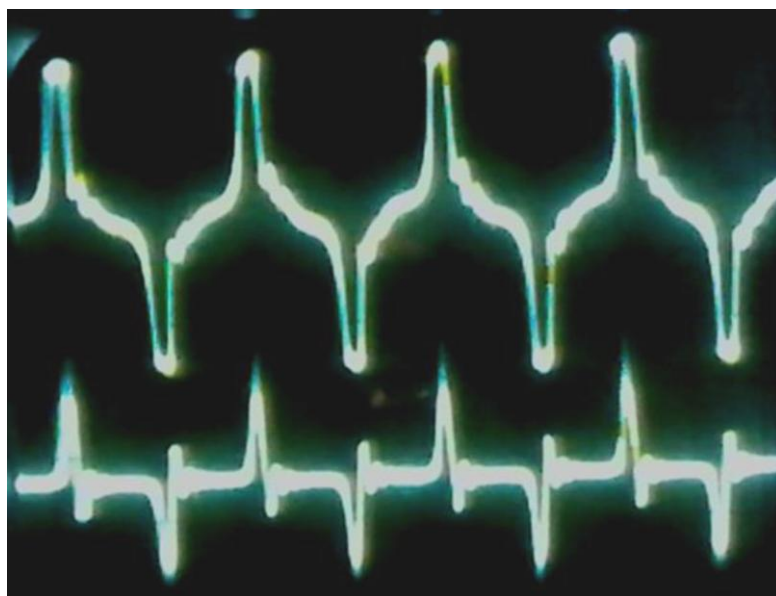


Рис.6. Осциллограмма периодического импульса напряжения (верхняя) и тока (нижняя) в цепи генератора озона (развертка 0.01 с/см)

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 подвержены колебаниям по частоте, амплитуды в формы в процессе работы.

По осциллограмме ток разряда имеет быстро затухающие колебания частотой 400 Гц (рис.6). Практически колебательный процесс заканчивается после первого периода колебания. Для снижения частоты колебаний, и соответственно снизить затухающий колебатель-

ный процесс тока, в цепи питания генератора озона, параллельно последнему подключался конденсатор.

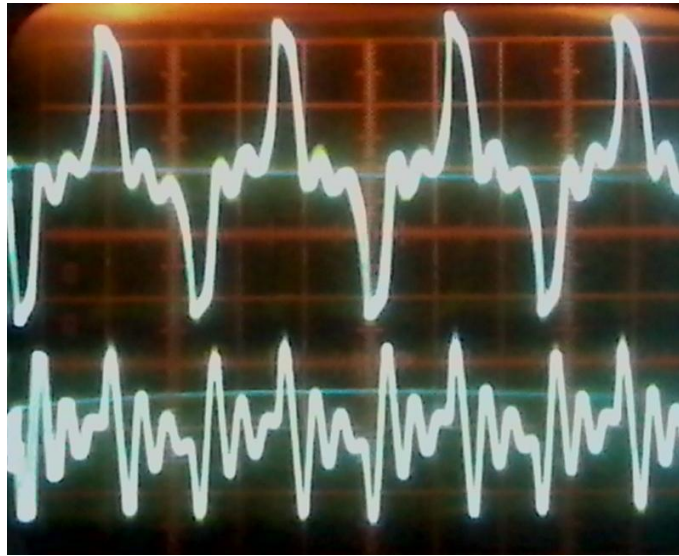


Рис.7. Осциллограмма периодического импульса напряжения (верхняя) и тока (нижняя) при подключен параллельно генератору озона конденсатора (развертка 0.01 с/см)

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 (рис.7.). При этом ток разряда умеет устойчивую амплитуду с затуханием. В данном случае повышается энергии накопленная в цепи питания будет использоваться полнее.

Исследование процесса нагрева диэлектрического барьера проводились на цилиндрическом генераторе озона. В качестве одного из электродов использовалась сетка с ячейками 1x1 мм, которая натягивалась на стеклянный цилиндр. Процесс разряда осуществлялся между внутренней поверхностью стеклянного цилиндра и внутреннего цилиндрического потенциального электрода. Измерение температуры барьера производился инфракрасным термометром типа GM 300 с пределом измерения $-50...380^{\circ}\text{C}$. Это позволили производить измерение температуры поверхности барьера непосредственно в процессе его работы, не отключая высокое напряжение.

Как видно из табл. 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. Это подтверждает выводы раздела 2 настоящего отчета.

Таблица. 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

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.

ВЫВОДЫ

1. Стабилизировать разрядные процессы в технологических разрядных промежутках можно при условии полной компенсации объемных зарядов в разрядном промежутке в паузе между импульсами.

2. Периодические импульсы высокого напряжения должны иметь скважность более 5, для обеспечения достаточного времени для рекомбинации объемных зарядов в разрядном промежутке.

3. 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.

4. Ввиду нестабильности разрядных процессов при синусоидальном напряжении, в существующих генераторах озона не предусмотрен контроль и автоматическое регулирование процесса. В случае стабилизации разрядного тока, по величине которого можно осуществлять управление и автоматическое регулирование процесса.

5. 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%.

6. В зависимости от индуктивности и активного сопротивления вторичной обмотки повышающего трансформатора и ёмкости генератора озона, частота периодических импульсов высокого напряжения не должна превышать 1000 Гц.

7. Для генерирования периодических высоковольтных импульсов напряжения была принята схема работающая по принципу генерирования низковольтных периодических импульсов напряжения с последующим повышением.

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

Библиографический список

1. Горденя Е.А. Исследование влияния параметров импульса напряжения на эффективность синтеза озона в стримерном коронном разряде. Дис. ... канд. техн. наук. – М., 2005.

2. Кириенко В.П. Регулируемые преобразователи систем импульсного электропитания. Дис. ... д-ра техн. наук. – Нижний Новгород, 2008.

3. Колчанова В.А. Численно-аналитические методы моделирования и диагностики электрофизических процессов в озонаторе и трансформаторе Тесла. Дис. канд. техн. наук. – Томск, 2006.

4. Музафаров Ш.М. Анализ переходных процессов в технологическом разрядном промежутке электрофильтров // Энергия ва ресурсларни тежаш муаммолари. – 2010. – № 1-2. – С. 275-277.

5. Техника высоких напряжений / Под общ. ред. М.В. Костенко. Учебное пособие для ВУЗов. – 1973. – 528 с.

6. Дымовые электрофильтры / В.И. Левитов, И.К. Решидов, В.М.Ткаченко и др.; под общей редакцией В.И. Левитова. – М.: Энергия, 1980. – 448 с.

7. Сокольский В.Н. Искрозащита технологических разрядных промежутков. – Л.: Энергия, 1980. – 180 с.