Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Мацкева Наталья Юрьевна
Должность: Проректор по учебной и воспитательной работе, молодежной политике ФГБОУ ВО "Ярославский ГАУ"
Дата подписания: 05.12.2024 11:01:58
Уникальный программный ключ:
fa349ae5f25a4504 3a89cfb07f1672d4ea10f48e8

УДК Материал поступил в редакцию 21.03.19.

В. В. ШМИГЕЛЬ, *доктор техн. наук, профессор*
А. С. УГЛОВСКИЙ, *канд. техн. наук, старший преподаватель*
В. В. ЕГОРЫЧЕВ, *аспирант*
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», Российская Федерация, г. Ярославль

V. V. SCHMIEGEL, *Advanced Doctor in Engineering Sciences, Professor*
A. S. UGLOVSKY, *Ph. D. of Engineering Sciences, Senior Lecturer*
B. B. ЕГОРЫЧЕВ, *Graduate student*
Yaroslavl state agricultural academy, Russian Federation, Yaroslavl

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОЗОНАТОРА ДЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ДЕЗИНФЕКЦИИ И СТИМУЛЯЦИИ ПЕРЕПЕЛИНЫХ ЯИЦ

DET
DIUM ELCUT

Аннотация. *Производство озона является одним из наиболее типичных промышленных и коммерческих применений электрического поля. Озон заменяет хлор для обработки питьевой воды, промышленных сточных вод, отбеливания и обесцвечивания. В данной работе импульсный источник высокого напряжения с использованием инверторного резонансного контура используется для выработки переменного тока высокой частоты. Частота диапазона 20…50 кГц генерируется микроконтроллером PIC18F452. Это высокая частота подается на строчный трансформатор для создания напряжения 10…30 кВ, высокое напряжение подается на электроды, где происходит ассоциация молекул кислорода. Выход на единицу площади увеличивается, так как он прямо пропорционален частоте и квадратуре установленного напряжения. Увеличение концентрации озона также обсуждается с помощью моделирования и экспериментальных методов. Предлагается озонаторная установка с электродной системой обеспечивает постоянное выходное напряжение (20 кВ) с частотой инвертора. Методика показала, что частота высоковольтного источника значительно повышает концентрацию озона при улучшенном напряжении. Следовательно, в установке предусмотрена специальная конструкция электрода и трансформатора. Система способна производить газ с хорошей концентрацией озона с хорошим выходом на единицу площади.*
Ключевые слова: *электрическое поле, озонатор, диэлектрическая проницаемость, перепелиное яйцо, электрод.*

Abstract. *Производство озона является одним из наиболее типичных промышленных и коммерческих применений электрического поля. Озон заменяет хлор для обработки питьевой воды, промышленных сточных вод, отбеливания и обесцвечивания. В данной работе импульсный источник высокого напряжения с использованием инверторного резонансного контура используется для выработки переменного тока высокой частоты. Частота диапазона 20…50 кГц генерируется микроконтроллером PIC18F452. Это высокая частота подается на строчный трансформатор для создания напряжения 10…30 кВ, высокое напряжение подается на электроды, где происходит ассоциация молекул кислорода. Выход на единицу площади увеличивается, так как он прямо пропорционален частоте и квадратуре установленного напряжения. Увеличение концентрации озона также обсуждается с помощью моделирования и экспериментальных методов. Предлагается озонаторная установка с электродной системой обеспечивает постоянное выходное напряжение (20 кВ) с ч-*

стотой инвертор . Методик пок з л , что ч стот высоковольтного источник зн чительно повыш ет концентр цию озон при улучшенном н пряжении. озон с хорошим выходом н единицу площ ди.

Ключевые слов : электрическое поле, озон тор, диэлектрическ я прониц емость, перепелиное яйцо, электрод.

Введение. С увеличением информации о загрязнении окружающей среды и химических веществах, которые негативно влияют на окружающую среду, ищутся альтернативные, более приемлемые окислители. Одним из таких мощных окислителей является озон, трехатомная форма кислорода, находящая все более широкое применение во многих отраслях промышленности в качестве бактерицидного агента [1]. Однако озон очень нестабилен, легко превращается в доброкачественную форму кислорода, и поэтому газ не может быть легко сохранен; он обычно генерируется при использовании [2]. Поэтому для проведения исследований основное внимание уделялось уровням концентрации озона через электростатическое поле. Обычно существуют конфигурации электродов и выбирается метод электропитания очень высокого напряжения, который использовался для большинства применений. Поэтому выбор источников высокого напряжения играет важную роль в создании концентрации озона, а также в повышении энергоэффективности. При использовании источника высокого напряжения большая часть энергии теряется в виде теплоэффективной системы охлаждения, которая должна быть сконструирована для предотвращения снижения уровня озона. Кроме того, выход озона зависит от диэлектрического материала, частоты, электродного промежутка и материалов электрода. Процесс генерации озона показан на рисунке 1. Для дезинфекции инкубационных перепелиных яиц применяется озонатор. Концентрация озона должна быть не ниже 300 мг/м^2 [3].



Рисунок 1 – Процесс генерации озона

Методы моделирования

Измерение ч стоты

Цепь питания состоит из однофазного диодного выпрямителя с полным мостом и сглаживающим конденсатором постоянного тока, который обеспечивает 5В. Источник питания 5 В подается на схему генератора. Схема RESET используется для сброса работы схемы, а шумовой фильтр устраняет шум, производимый конденсатором. Генерируемая частота подключается к выводу генератора в микроконтроллере (PIC18F452). Оптопара используется для обеспечения изоляции между устройством MOSFET и схемой микроконтроллера. Микроконтроллер способен обеспечить частоту в диапазоне 20 МГц. МОП-транзистор настроен на частоту переключения 20 кГц. Используется метод широтно-импульсной модуляции [4, 5]. Многочисленные быстрорастущие прямоугольные напряжения, с помощью которых электрическая энергия может передаваться нагрузке более эффективно, чем короткие импульсные напряжения [6]. Дисплей используется для отображения частоты сигнала ШИМ управления рабочей частотой строчного трансформатора высоковольтного источника. Конструктивная схема была разработана с использованием Proteus 7.6 для измерения частоты, показанной на рисунке 2.

На данном рисунке показана схема управления ШИМ частотой следования импульсов строчного трансформатора (схема с Mosfet-тразистором и микроконтроллером). При изменении ширины импульсов ШИМ изменяется выходное напряжение трансформатора.

Измерение напряжения

Трансформатор разработан с использованием программного обеспечения Proteus. Высокая частота подается на первичную об-

мотку строчного трансформатора с напряжением питания 15 В. Высокое напряжение 20 кВ достигается путем внесения необходимых изменений в строчный трансформатор [7]. Основной функцией этой схемы является моделирование прямоугольного высокочастотного входа для строчного трансформатора [8]. Генерируемая прямоугольная волна обычно имеет частоту 25…100 кГц. Строчные трансформаторы являются высокочастотными трансформаторами, а их низкая выходная мощность и небольшой размер делают их очень полезными для генерации высокого выходного напряжения с низким током [9]. Технические характеристики трансформатора приведены в таблице.

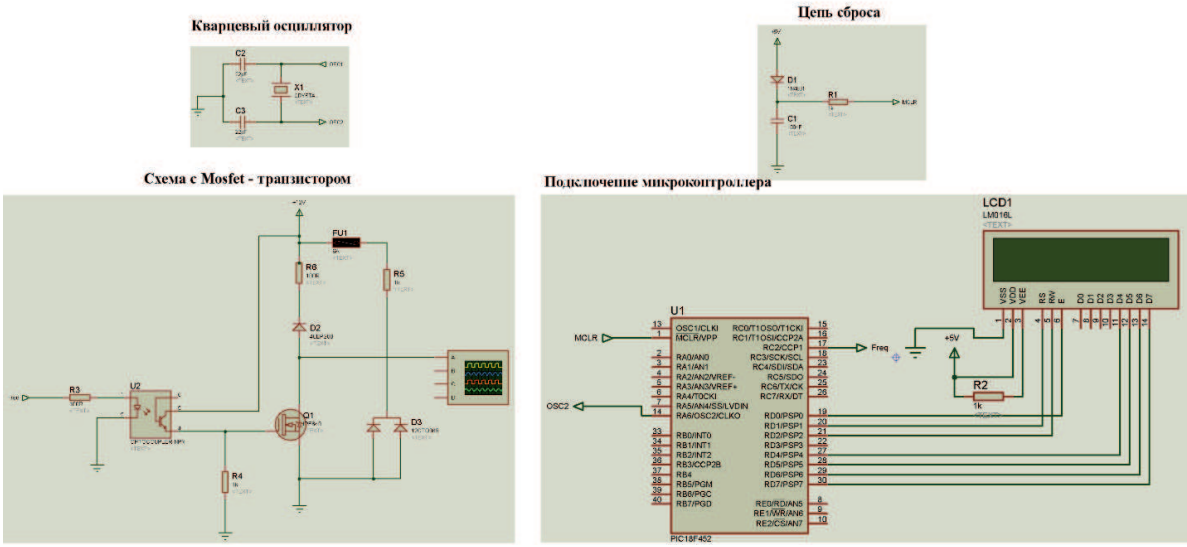


Рисунок 2 – **Имитационная модель измерения частоты**

Спецификация трансформатора

Частота	20...50 кГц
Время	20 мкс
КПД	80 %
Падение напряжения на диоде	0,7 В
Напряжение на первичной обмотке V_{in}	15 В
Выходное напряжение V_{out}	10 кВ
Выходной ток	180 мА
Индуктивность первичной обмотки	0,9 мкГн

Конструкция установки разработана для генерации высокого напряжения с использованием программного обеспечения Proteus. Смоделированная установка для строчного трансформатора показана на рисунке 3.

Частота и напряжение, полученные при моделировании, анализируются в теоретических и экспериментальных расчетах выхода озона.

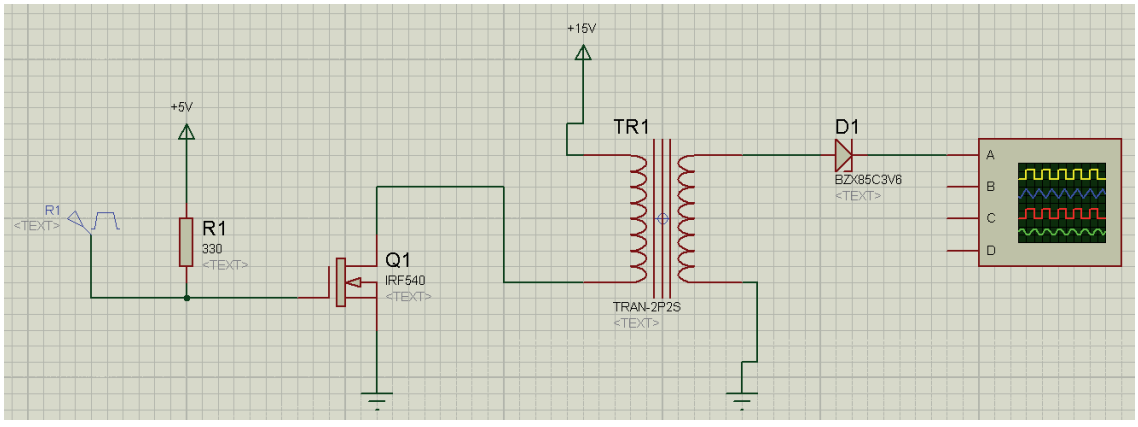


Рисунок 3 – **Имитационная модель для измерения напряжения**

Теоретический расчет

Выход озона рассчитывается теоретически из уравнения (1)

$$\frac{Y}{A}=\frac{V^2 f\varepsilon}{d}, \quad (1)$$

где $\frac{Y}{A}$ – выход озона на единицу площади электрода; V – напряжение на электродном промежутке; f – частота установленного напряжения; ε – диэлектрическая проницаемость; d – толщина диэлектрика и воздушного газа.

Мощность, рассеиваемая во время генерации озона, рассчитывается по уравнению Манли [10].

$$P_g = 4fC_d V_{min}\left(V' - V_{min}\right), \quad (2)$$

где f – установленная частота (Гц); C_d – емкость диэлектрика (Ф); V' – пиковое значение установленного напряжения (В); V_{min} – минимальное внешнее напряжение, В.

Теоретические емкости газового зазора C_g и диэлектрического слоя C_d для прямоугольного озонатора можно выразить как:

$$C_d = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 s_g}{d}. \quad (3)$$

Генератор высокого напряжения обеспечивает пиковое переменное напряжение от 5 до 30 кВ. Озон может генерироваться кислородом, присутствующим в воздухе или кислородом высокой чистоты. Источник исходного газа должен быть чистым и сухим, с максимальной точкой от –20 до –60 °С. Ионизаторы с кислородным питанием предпочтительнее для производства озона, поскольку они потребляют более низкую плотность энергии, чем в сухом воздухе. Генерация озона потребляет энергию в значении от 4 до 6 кВт·ч/кг О3.

Чтобы найти концентрацию озона в $\frac{mg}{L_{NTR}}$ (PPM), необходимо рассчитать массу и VNTP. Таким образом, для определения давления скорректированный объем газа рассчитывается по

$$V_{NTR} = V_a x \frac{p_a - p_y - p_m}{p_{NTR}} x \frac{T_{NTR}}{T_a}, \quad (4)$$

где V_{NTP} – объем газа в литрах по отношению к нормальным условиям температуры и давления; V_a – объем не скорректированного газа, измеренные значения в литрах; P_{NTP} – нормальный, по отношению к стандартному давлению; T_{NTP} – нормальная, эталонная стандартная температура; p_a – атмосферное давление, кПа.

Масса озона определяется как [11]

$$\text{Масса} = 24 x V_t x N_t, \quad (5)$$

где 24 – коэффициент пересчета = 24000 МЕ/л на 1000 мл/л; V_t – объем тиосульфата натрия, мл.; N_t – нормальность тиосульфата натрия в мг/МЕ.

Следовательно, концентрация озона рассчитывается по уравнению (6):

$$O_c = \frac{\text{Масса}(5)}{V_{NTP}}. \quad (6)$$

Производство озона также имеет очевидную связь с расходом. С помощью скорости потока кислорода л/мин (LPM) и концентрации озона в этом кислороде определяют выработку озонового генератора. График показывает, что увеличение скорости потока увеличивает эффективность производства озона:

Производство озона (г/ч) = LPM x 0,001 x 60 x 14,3 x % О3.

Эффективность озона [11] может быть вычислена из уравнения ниже:

$$\text{Эффективность озона}\left(\frac{\text{г}}{\text{кВт}}\times\text{ч}\right)=\frac{\text{произведенный озон}\left(\text{г/нм}^3\right)}{\text{мощность истоника}\left(\text{Вт}\right)}$$

Мощность высоковольтного источника получается путем сбора данных тока и напряжения, используемых в течение периода его работы. На рисунке 4 показан фрагмент электродной системы озонатора с распределение картины напряженности электростатического поля, выполненной в программе Elcut. Максимальное напряженность составляет: 6,23×106 В/м. Электроды озонатора имеют потенциалы +10000 и –10000 В. Между электродами имеется диэлектрик – стекло с коэффициентом диэлектрической проницаемости – 7:

$$P(t) = v(t)i(t)$$

Результаты и обсуждение

Форма сигнала с частотой 20 кГц, генерируемая осцилляторной схемой с микроконтроллером PIC18F452, показана на рисунке 5.

Форма напряжения, генерируемая строчным трансформатором, показана на рисунке 6.

Значения частоты и напряжения подставляются в уравнение (1), рассчитывается концентрация на единицу площади и строится график.

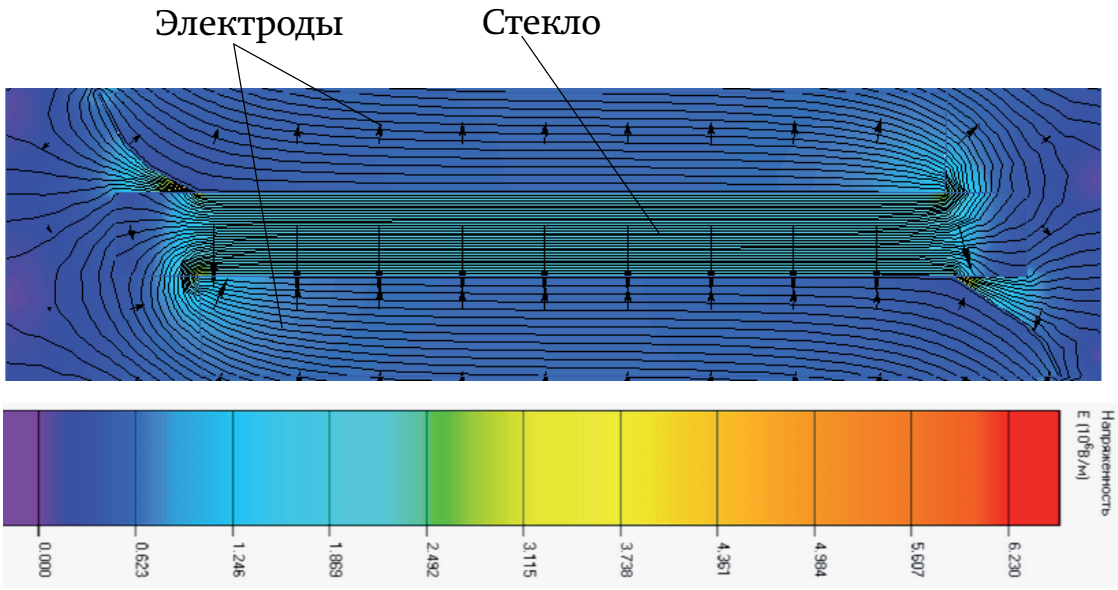


Рисунок 4 – **Электродная система, разрабатываемого озонатора и распределение напряженности электростатического поля**

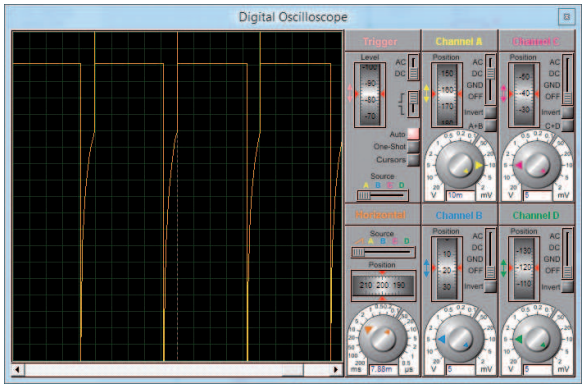


Рисунок 5 – **Форма волны измерения частоты методом ШИМ**

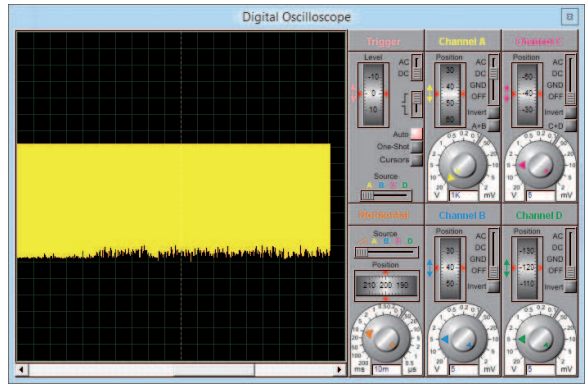


Рисунок 6 – **Форма выходного сигнала строчного трансформатора**

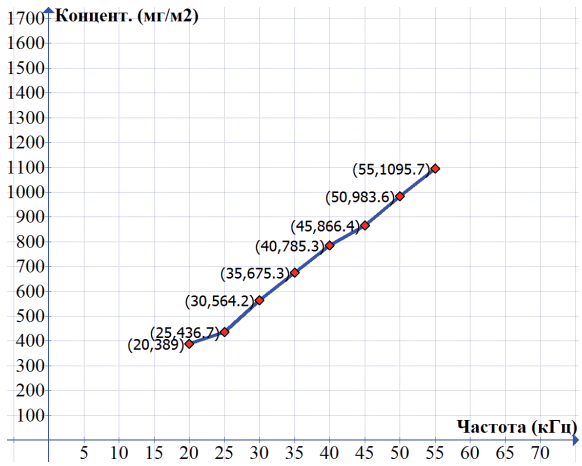


Рисунок 7 – **Влияние частоты (кГц) на концентрацию озона (мг/м²)**

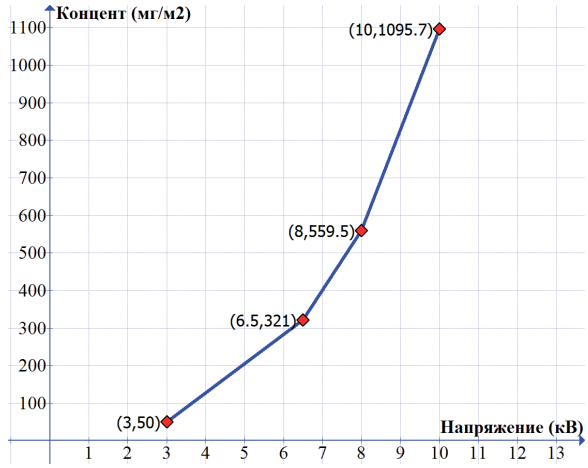


Рисунок 8 – **Влияние напряжения на концентрацию озона (мг/м²)**

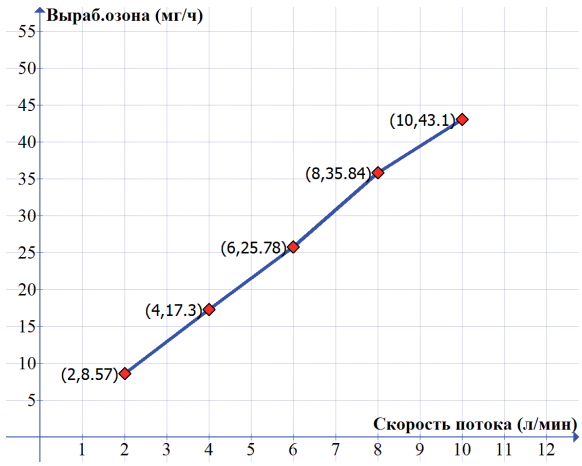


Рисунок 9 – **Влияние скорости потока на выработку озона (мг/ч)**

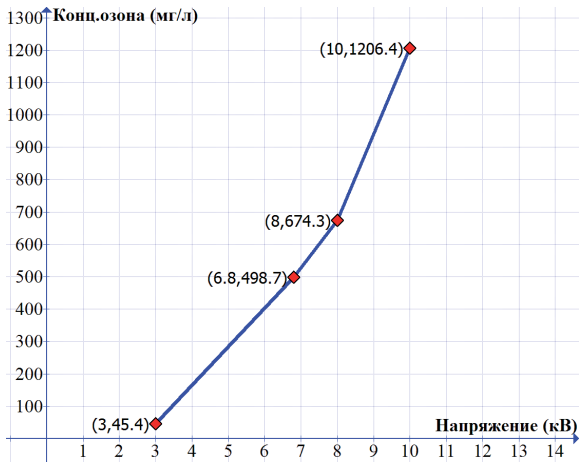


Рисунок 10 – **Концентрации озона (мг/л) как функция установленного напряжения**

Было обнаружено, что увеличение производства достигается за счет увеличения напряжения, частоты и скорости потока. Скорость увеличения концентрации может быть объяснена повышенной скоростью образования озона в процессе ассоциации ($O + O_2$). Концентрация озона и скорость производства при постоянной скорости потока воздуха 2,5 л/мин и постоянной влажности показаны на рисунке 9. Точки на рисунке представляют средние значения концентрации при каждом напряжении. Результат, показанный на рисунке 9 и 10, указывает на увеличение концентрации озона и скорости производства при увеличении установленного напряжения соответственно.

Вывод

Предлагаемая озонаторная установка выдает переменную высокую частоту 20…50 кГц. Данное решение обеспечивает постоянное выходное напряжение (20 кВ) с частотой инвертора. Методика показала, что частота высоковольтного источника значительно повышает концентрацию озона при улучшенном напряжении. Следовательно, в установке предусмотрена специальная конструкция электрода и трансформатора. Система способна производить газ с хорошей концентрацией озона с хорошим выходом на единицу площади.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Kogelschatz U., Eliasson B., Egli W.** Dielectric-Barrier Discharges : Principle and Applications. Journal Physics IV France 7, 1997. pp. 47–66.

2. **Pietsch G. J., Gibalov V. I.** Dielectric Barrier Discharges and Ozone Synthesis. Pure & Applied Chemistry. 1998. 70(6) : pp. 1169–1174.

4. **Samaranayake W.J.M., Namihira T., Katsuki S., Miyahara Y., Sakugawa T., Hackam R., Akiyama H.** Pulsed Power Production of Ozone Using Non thermal Gas Discharges July/August 2001 Vol. 17, No. 4.

5. **Namihira T., Shinozaki K., Katsuki S., Hackam R., Akiyama H., Sakugawa T.** Characteristics of Ozonizer Using Pulsed Power. IEEE Conference on Pulsed Power Plasma Science. 2001.

6. **Chalmers I. D., Bairdy R. C., Kellyz T.** Control of An Ozone Generator Theory and Practice. Measurement Science Technology. 1998. 9(6) : pp. 983–988.

7. **Patel M. A., Patel A. R., Vyas D. R., Patel K. M.** Use of PWM Techniques for Power Quality Improvement, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 1, No. 4, May 2009. pp. 99–102.

8. **Ono Ryo, Oda Tetsuji** Ozone Production Process in Pulsed Positive Dielectric Barrier Discharge. Journal Physics D : Appl. Physics. 2007. 40 : pp. 176–182.

9. **Buntat Z., Smith I. R., Razli N. A. M.** Ozone Generation by Pulsed Streamer Discharge in Air. Applied Physics Research. 2009. 1(2) : pp. 1–10.

10. **Naidu M. S., Kamaraju V.** High Voltage Engineering. (3rd ed.). New Delhi : Tata McGraw-Hill

Publishing Company Limited. 2004.
11. **Kitayama J., Kuzumoto M.** Theoretical and Experimental Study On Ozone Generation Characteristics of An Oxygen-Fed Ozone Generator In Silent Discharge. Journal Of Appl. Physics. 1997. 30 : pp. 2453–2461.
11. **Чупина Л. В.** Птицеводство. Технология производства мяса птицы: учеб.-метод. пособие / Новосиб. гос. аграр. уни-т., биол.-технолог. факт; сост.: Л. В. Чупина, В. А. Реймер. Новосибирск : НГАУ, 2016. 39 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Kogelschatz U., Eliasson B., Egli W.** Dielectric-Barrier Discharges : Principle and Applications. Journal Physics IV France 7, 1997. pp. 47–66.
2. **Pietsch G. J., Gibalov V. I.** Dielectric Barrier Discharges and Ozone Synthesis. Pure & Applied Chemistry. 1998. 70(6) : pp. 1169–1174.
4. **Samaranayake W.J.M., Namihira T., Katsuki S., Miyahara Y., Sakugawa T., Hackam R., Akiyama H.** Pulsed Power Production of Ozone Using Non thermal Gas Discharges July/August 2001 Vol. 17, No. 4.
5. **Namihira T., Shinozaki K., Katsuki S., Hackam R., Akiyama H., Sakugawa T.** Characteristics of Ozonizer Using Pulsed Power. IEEE Conference on Pulsed Power Plasma Science. 2001.
6. **Chalmers I. D., Bairdy R. C., Kellyz T.** Control of An Ozone Generator Theory and Practice. Measurement Science Technology. 1998. 9(6) : pp. 983–988.
7. **Patel M. A., Patel A. R., Vyas D. R., Patel K. M.** Use of PWM Techniques for Power Quality Improvement, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 1, No. 4, May 2009. pp. 99–102.
8. **Ono Ryo, Oda Tetsuji** Ozone Production Process in Pulsed Positive Dielectric Barrier Discharge. Journal Physics D : Appl. Physics. 2007. 40 : pp. 176–182.
9. **Buntat Z., Smith I. R., Razli N. A. M.** Ozone Generation by Pulsed Streamer Discharge in Air. Applied Physics Research. 2009. 1(2) : pp. 1–10.
10. **Naidu M. S., Kamaraju V.** High Voltage Engineering. (3rd ed.). New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. 2004.
11. **Kitayama J., Kuzumoto M.** Theoretical and Experimental Study On Ozone Generation Characteristics of An Oxygen-Fed Ozone Generator In Silent Discharge. Journal Of Appl. Physics. 1997. 30 : pp. 2453–2461.
11. **Чупина Л. В.** Птицеводство. Технология производства мяса птицы: учеб.-метод. пособие / Новосиб. гос. аграр. уни-т., биол.-технолог. факт; сост.: Л. В. Чупина, В. А. Реймер. Новосибирск : НГАУ, 2016. 39 с.

***Шмигель Владимир Викторович**, доктор техн. н ук, профессор к федры «Электрифик ция»*
Тел. 8-961-154-35-75
E-mail: v.shmigel@yarcx.ru

***Угловский Артем Сергеевич**, к нд. техн. н ук, ст рший препод в тель к федры «Электрифик - ция»*
Тел. 8-980-663-85-78
E-mail: a.uglovskii@yarcx.ru

***Егорычев Валерий Владимирович**, спир нтк*
Тел. 8-910-666-60-33
E-mail: lion-007@list.ru