

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 001.891.5:621.384.52:631.22

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-66-73>

Электрический озонатор-излучатель воздуха для сельскохозяйственных помещений: результаты исследований автономного модуля

*В.Ф. Сторчевой¹, Ю.А. Судник², А.Н. Мануйленко³*¹ Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет); г. Москва, Россия² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия³ Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина; Белгородская обл., Россия¹ v_storchevoy@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>² sudnik@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3725-9860>³ manuylenko_an@bsaa.edu.ru; <https://orcid.org/0009-0001-9138-9562>

Аннотация. Воздушная среда животноводческих помещений нуждается в обеззараживании и улучшении газового состава. Наиболее эффективным способом является озонирование. С целью оздоровления воздуха внутри животноводческих помещений авторами разработан электрический озонатор-излучатель, модуль излучателя которого состоит из двух керамических оснований с разнотенциальными электродами из вольфрама: на одном основании электрод в виде сотовой ячейки, на другом – в виде стержня. Производительность по озону регулируется изменением разрядного промежутка между электродами излучателя и проводящей плоскостью. Теоретически установлено, что образование озона в коронном разряде зависит от напряженности электрического поля между разнотенциальными электродами и температуры их нагрева. При этом максимальная напряженность достигается при разрядном промежутке от 25 до 35 мм и электродах радиусом не более 2 мм. Изучение влияния температуры нагрева электродов на озонобразование проводилось на разработанной конструкции озонатора-излучателя в лаборатории объемом 180 м³ при температуре воздуха плюс 25°C. Значение воздушного зазора между электродами составляло 30 мм, напряжение на излучателе варьировалось от 10 до 30 кВ, продолжительность работы озонатора-излучателя составляло 0-80 мин, скорость воздушного потока, создаваемого электровентилятором, – 0,3 м/с. Экспериментально установлено, что стабильная работа озонатора-излучателя наблюдается, когда температура электродов не превышает 30°C. В дальнейшем планируется внедрить озонатор-излучатель воздуха для сельскохозяйственных помещений в систему вентиляции и кондиционирования.

Ключевые слова: озонатор-излучатель, озонатор-излучатель воздуха для сельскохозяйственных помещений, электроозонатор, воздух, разряд, температура электродов, радиус электрода

Для цитирования: Сторчевой В.Ф., Судник Ю.А., Мануйленко А.Н. Электрический озонатор-излучатель воздуха для сельскохозяйственных помещений: результаты исследований автономного модуля // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 5. С. 66-73. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-66-73>

ORIGINAL ARTICLE

Electric ozonizer-air emitter for agricultural buildings: study results for an autonomous module

*V.F. Storchevoy¹, Yu.A. Sudnik², A.N. Manuylenko³*¹ Moscow Aviation Institute (National Research University); Moscow, Russia² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia³ Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin; Belgorod region, Russia¹ v_storchevoy@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>² sudnik@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3725-9860>³ manuylenko_an@bsaa.edu.ru; <https://orcid.org/0009-0001-9138-9562>

Abstract. The air environment of livestock buildings requires disinfection and improvement of the gas composition. The most effective method is ozonation. In order to improve the air inside livestock buildings, the authors have developed an electric ozonizer-emitter. Its emitter module consists of two ceramic bases with different-potential

tungsten electrodes, one base having an electrode in the form of a honeycomb cell, and the other – in the form of a rod. The ozone productivity is regulated by changing the discharge gap between the emitter electrodes and the conducting plane. It has been theoretically established that ozone formation in a corona discharge depends on the electric field strength between the different-potential electrodes and their heating temperature. In this case, the maximum strength is achieved with a discharge gap from 25 to 35 mm and electrodes with a radius of no more than 2 mm. The effect of electrode heating temperature on ozone formation was studied on the developed design of the ozonizer-emitter in a laboratory of 180 m³ at an air temperature of 25°C above zero. The air gap between the electrodes was 30 mm, the voltage on the emitter varied from 10 to 30 kV, the duration of the ozonizer-emitter operation ranged between 0 and 80 min, the airflow rate induced by the electric fan was 0.3 m/s. It was experimentally established that stable operation of the ozonizer-emitter is observed when the electrode temperature does not exceed 30°C. In the future, the authors plan to introduce the ozonizer-air emitter into the ventilation and air conditioning system of agricultural buildings.

Keywords: ozonizer-emitter, ozonizer-air emitter for agricultural buildings, electric ozonizer, air, discharge, electrode temperature, electrode radius

For citation: Storchevoy V.F., Sudnik Y.A., Manuylenko A.N. Electric ozonizer-air emitter for agricultural buildings: study results for an autonomous module. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(5):66-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-66-73>

Введение

Для развития животноводства (птицеводства) необходимо создать определенные условия содержания животных и птицы, способствующие росту показателей их продуктивности (увеличение живой массы, лактационная продуктивность, яйценоскость и т.д.). Одним из решений данной задачи является содержание животных (птицы) в закрытых помещениях с поддержанием эффективных параметров микроклимата для конкретного вида сельскохозяйственного животного и птицы (температурно-влажностный режим, освещенность, перемещение воздушных масс, охлаждающая способность воздуха). Помимо параметров микроклимата в сельскохозяйственных помещениях, необходимо обеспечить качество воздушной среды по уровню ионизации $100 \cdot 10^3 \dots 480 \cdot 10^3$ ион/см², содержанию взвешенных пылевых частиц не более 0,4...1,5 мг/м³, количеству колоний патогенной микрофлоры до 100000 КОЕ/м³ и концентрациям вредных газов.

Разработка новых технологических устройств регулирования параметров воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях по газовому составу и патогенной микрофлоре является важной проблемой для агропромышленного комплекса и научного сообщества [1-3].

Отопительно-вентиляционные системы, используемые для нормирования микроклимата, не всегда позволяют добиться оптимальных параметров воздушной среды по обсемененности патогенной микрофлоры и газовому составу. Регулирование показателей качества воздуха в производственных помещениях решается путем применения химических и физических средств, а также их комбинации (активное

вентилирование, орошение, мойка, газация и т.п.) [3]. Несмотря на свою распространенность, такие средства имеют ряд недостатков: повышенный расход электрической энергии и водных ресурсов, а также финансовые затраты, направленные на закупку, доставку и хранение химических активных веществ для обработки помещений и их воздушной среды. Анализ научных работ [3-8] позволил выделить основные виды физических методов контроля параметров воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях по газовому составу и патогенной микрофлоре (рис. 1).

Наиболее эффективным методом является озонирование. При воздействии высокого напряжения на молекулу кислорода происходит ее диссоциация и синтез газообразного озона. Озонированием воздушной среды можно добиться свежести воздуха, дезинсекции, дератизации, снижения концентрации вредных микроорганизмов и газов (NH₃, H₂S, CO₂). При этом энергетические затраты, направленные на мероприятия по снижению бактериальной обсемененности и концентрации вредных производственных газов с помощью газообразного озона, относительно невелики по сравнению с прочими физическими методами [3-7].

Наряду с достоинствами использования газообразного озона для обработки и обеззараживания воздушной среды и поверхностей сельскохозяйственных помещений существуют недостатки. При концентрациях выше предельно допустимой (0,1 мг/м³) и длительном воздействии газообразный озон выступает как отравляющее вещество для животных и персонала и способствует более быстрому коррозионному разрушению необработанных металлических

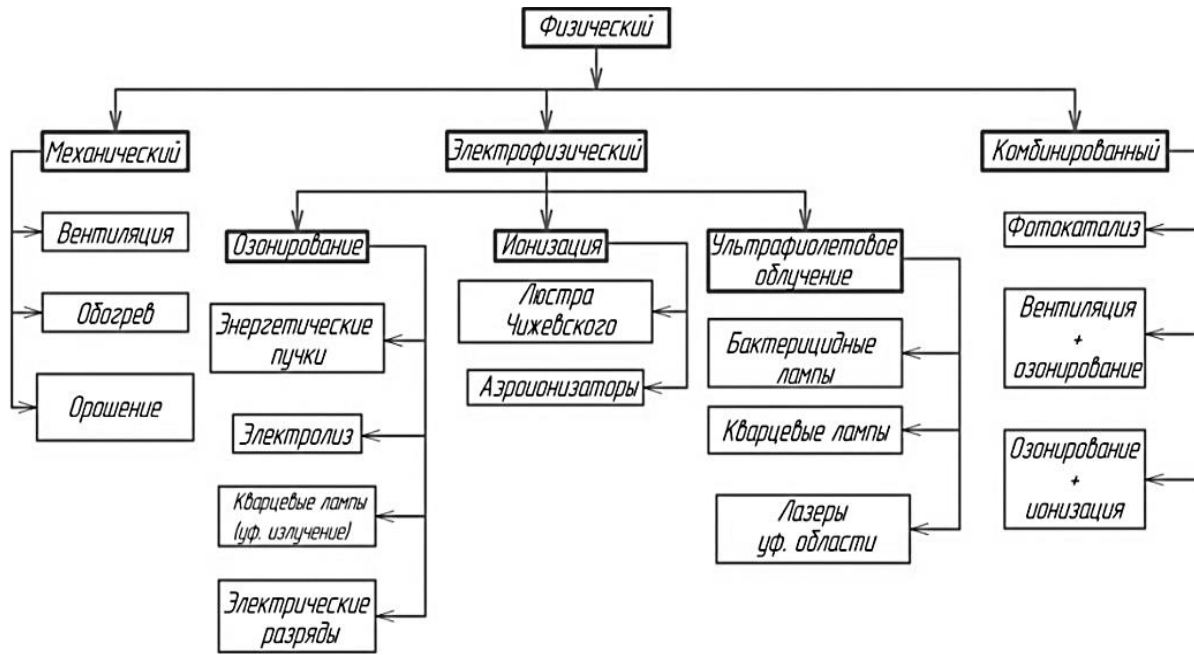


Рис. 1. Виды физических методов контроля параметров воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях по газовому составу и патогенной микрофлоре
Fig. 1. Types of physical methods for monitoring air parameters in livestock and poultry buildings for gas composition and pathogenic microflora

конструкций. При длительной работе электроозонаторы на коронном разряде могут работать нестабильно и не обеспечивать оптимальную равномерную концентрацию по объему помещения. Это может быть связано с неправильной установкой устройства и неподходящим температурно-влажностным режимом, плохим охлаждением электродов, загрязнением внутренних компонентов озонаторной установки пылью, техническими особенностями устройства. Для устранения данных недостатков необходимо контролировать генерируемую концентрацию озона при помощи датчиков озона, обеспечивать качественное охлаждение излучателя, поддерживать эффективные параметры работы установки на коронном разряде в зоне озонобразования.

Цель исследований: разработка конструкции электрического озонатора-излучателя для животноводческих помещений в целях оздоровления воздуха и профилактики распространения заразных болезней.

Материалы и методы

Проведен анализ научной литературы по вопросам электрического синтеза газообразного озона, изучена специфика воздействия озона на угнетение патогенной микрофлоры и изменение газового состава воздушной среды, осуществлен патентный поиск технических устройств на коронном разряде для озонирования воздуха. Рассмотрены теория процесса электрического озонирования и способы повышения эффективности процесса.

Экспериментальное обоснование технологических параметров и благоприятных режимов озонирования воздушной среды в животноводческом помещении с применением автономного модуля электрического озонатора было проведено с использованием теории планирования эксперимента и регрессионного анализа¹.

Для измерения режимов работы установки и параметров воздушной среды использовались мультиметр DT 9205A, киловольтметр С197, миллиамперметр АПТ-1а, анемометр Smart Sensor AR816+, анализатор озона WELUOT DM509-O3 и Элан O₃, штангенциркуль Inforce 06-11-39, пирометр Kraftool TRM-1000, гигрометр AIRQS3-1.

Наиболее эффективные значения параметров установки и условия ее эксплуатации определены на основе статистической обработки экспериментальных данных с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2010 и КОМПАС-3D v20.1.

Результаты и их обсуждение

Эффективность работы электроозонаторных установок на коронном разряде обусловлена: напряжением, определяющим интенсивность коронного разряда и скорость образования газообразного озона; разрядным промежутком между стержневым электродом и проводящей плоскостью, влияющим

¹ Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 2003. 405 с.

на напряженность электрического поля и интенсивность разряда; расходом озона, определяющим время пребывания молекул кислорода в зоне разряда и влияющим на степень конверсии кислорода в озон; температурой и влажностью воздушной среды, определяющими стабильность разряда и выход озона².

Для повышения эффективности и стабильности работы разрабатываемой конструкции автономного модуля электроозонатора проведены дополнительные экспериментальные исследования, целью которых было установление того, как меняется температура на электродах в зависимости от напряжения и длительности работы.

Для осуществления процесса образования озона из воздуха посредством коронного разряда и диссоциации молекулы кислорода используются различные конструкторские решения электроозонаторов на коронном разряде. Их основными технологическими узлами остаются генератор высокого напряжения, стержневые электроды и проводящая пластина разных потенциалов (модуль излучателя), а также электрический вентилятор [6-8].

Ранними научными исследованиями³ установлена зависимость озонаобразования от напряженности электрического поля в воздушном зазоре. Для системы стержневых электродов (рис. 2) были проведены теоретические исследования и получены аналитические выражения для определения напряженности электрического поля (E_{max}), учитывающие конструктивные параметры электродной системы.

Определено, что для одиночного электрода максимальная напряженность на его конце при $\Theta = 0$ и $r = R_0$ составит:

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

где φ_1 – потенциал, В; h – воздушный зазор, м; R_0 – радиус электрода, м.

Зависимость электрической напряженности от радиуса электрода и воздушного зазора представлена на рисунке 3.

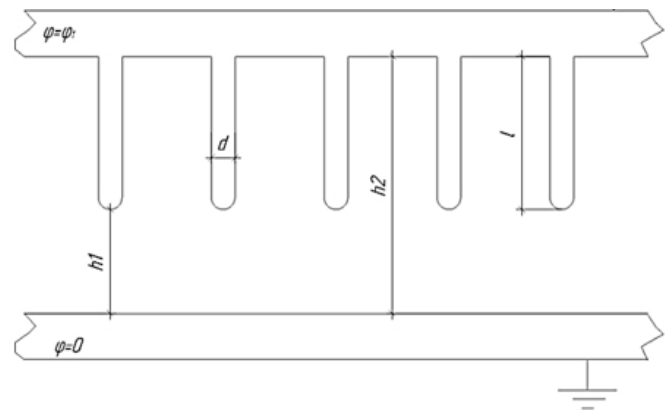


Рис. 2. Физическая модель системы² игольчатых электродов озонатора-излучателя:

h1 – воздушный зазор; h2 – расстояние между биполярными проводящими пластинами; d – диаметр электрода; l – длина электрода

Fig. 2. Physical model² of the needle electrode system of the ozonizer-emitter:

h1 – air gap; h2 – distance between bipolar conductive plates; d – electrode diameter; l – electrode length

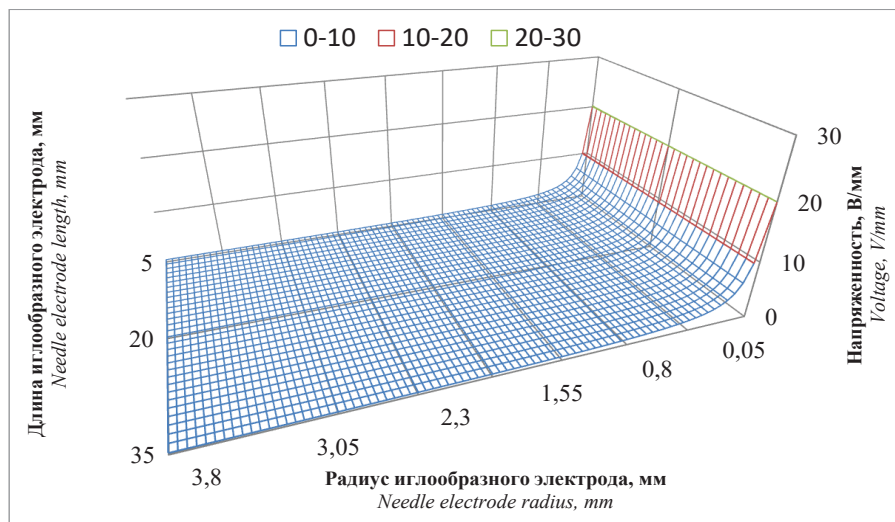


Рис. 3. Зависимость напряженности электрического поля от радиуса электрода и воздушного зазора³

Fig. 3. Dependence of the electric field strength in the ozone formation zone on the electrode radius and the air gap³

² Мануйленко А.Н. Разработка и исследование озонатора-излучателя воздуха на электродах с керамическим основанием для животноводческих помещений: Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2024. 23 с.

³ Мануйленко А.Н. Разработка и исследование озонатора-излучателя воздуха на электродах с керамическим основанием для животноводческих помещений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2024. 23 с.

Полученные данные (рис. 3) позволяют сделать вывод о том, что радиус стержневого электрода (до 2 мм) является важным фактором, влияющим на показатель напряженности (до 20 В/мм) в активной зоне озонобразования.

На основе обзора научной литературы, патентного поиска и проведенных теоретических исследований [9-11] разработаны конструкция автономного модуля электрического озонатора-излучателя на коронном разряде (рис. 4) и конструкция узла электродов (рис. 5). Техническая новизна разработанного устройства подтверждена патентами на изобретение и полезными моделями⁴ [12-14].

Новая конструкция узла электродов позволяет увеличить надежность разнопотенциальных

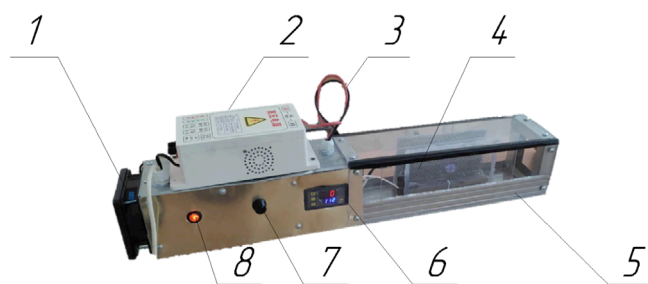


Рис. 4. Экспериментальный озонатор-излучатель воздуха:

- 1 – вентилятор; 2 – генератор высокого напряжения;
- 3 – экранированные провода; 4 – модуль излучателя;
- 5 – корпус электроозонатора;
- 6 – программируемое реле времени;
- 7 – регулятор скорости вращения вентилятора;
- 8 – тумблер включения/выключения питания от сети

Fig. 4. Experimental ozonizer-air emitter:

- 1 – fan; 2 – high voltage generator; 3 – shielded wires;
- 4 – emitter module; 5 – electric resonator housing;
- 6 – programmable time relay; 7 – fan speed control;
- 8 – power supply on/off switch toggle

электродов и повысить производительность устройства по выходу озона. Узел электродов включает в себя два керамических основания с закрепленными на них вольфрамовыми разнопотенциальными электродами. На одном основании электрод в виде сотовой ячейки, на другом – в виде иглы с острием. В устройствах, работающих на высоких напряжениях, образуется коронный разряд, при котором происходит ионизация воздуха вокруг проводника. Коронный разряд приводит к образованию озона, но при отсутствии диэлектрических барьеров и систем защиты коронный разряд может сорваться в неуправляемый разряд (дугу) на корпус устройства, что может привести к выходу из строя и снижению общей безопасности эксплуатируемой электроустановки. Использование электротехнической керамики в качестве диэлектрической прослойки препятствует срыву разряда на корпус, способствует эффективному отводу тепла от разнопотенциальных электродов, продлевая срок их службы.

В разработанной конструкции узла излучателя предусмотрена регулировка воздушного зазора между острием электрода и проводящей плоскостью, благодаря чему обеспечивается регулировка производительности озонатора-излучателя по генерации газообразного озона на одном источнике высокого напряжения, а также возможность установления конкретного параметра режима работы [15].

Анализ работ по применению озонирования показывает^{5,6,7} [5-7], что стабильность процесса генерации озона из воздушной среды под воздействием коронного разряда зависит от температуры электродов. Из этого следует, что температура нагрева электродов является важным фактором для обеспечения непрерывности процесса озонобразования.

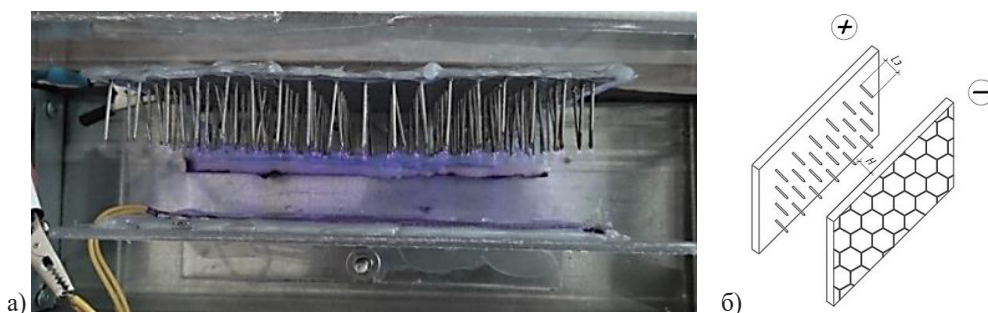


Рис. 5. Внешний вид (а) и структурная схема (б) узла электродов

Fig. 5. Appearance (a) and block diagram (b) of the electrode assembly

⁴ГОСТ 31829-2012. Оборудование озонаторное. Требования безопасности: введ. 1 января 2014 г. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

⁵Баженов В.И., Стрельченко А.Н. Основы планирования и моделирования в теории инженерного эксперимента: учебное пособие. М.: МАИ, 1983. 59 с.

⁶Вавилова Г.В. Математическая обработка результатов измерения: Учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2013. 167 с.

⁷Ксенз Н.В. Электроозонирование воздушной среды животноводческих помещений: Методические рекомендации. Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1991. 171 с.

С использованием разработанного озонатора-излучателя воздуха (рис. 5) были проведены экспериментальные исследования по выявлению зависимости изменения температуры на электродах (z) от продолжительности работы (y_1) и напряжения (y_2). Проведенные исследования соответствовали плану второго порядка Коно для двухфакторных экспериментов.

Эксперимент проведен в лаборатории, объемом 180 м^3 , температура в помещении составляла плюс 25°C , значение воздушного зазора – 30 мм , показатель высокого напряжения на излучателе варьировался от 10 до 30 кВ , при продолжительности работы экспериментального озонатора-излучателя $0-80$ мин и скорости воздушного потока $0,3 \text{ м/с}$, создаваемого электровентилятором. По полученным экспериментальным данным составлена регрессионная модель, характеризующая зависимость температуры электродов от времени работы и напряжения:

$$z = 30,2 + 1,2y_1 + 3,8y_2 + 0,67y_1y_2 - 0,3y_1^2 - 0,4y_2^2, \quad (2)$$

где z – температура на разнопотенциальных электродах, $^\circ\text{C}$; y_1 – время работы озонатора-излучателя, мин; y_2 – напряжение, выдаваемое генератором высокого напряжения, кВ.

Адекватность полученной модели должна отвечать F -критерию достоверности по Фишеру:

$$F_{\text{рас}} \leq F_{\text{табл}}, \quad (3)$$

где $F_{\text{рас}}$ – расчетный критерий адекватности модели, $F_{\text{рас}} = 2,57$; $F_{\text{табл}}$ – табличный критерий адекватности модели, $F_{\text{табл}} = 2,96$.

$$2,57 \leq 2,96.$$

Проверочное условие выполняется, поэтому полученные коэффициенты регрессии можно считать значимыми. По уравнению (2) построена расчетная поверхность (рис. 6), которая характеризует зависимость изменения температуры узла электродов разработанного озонатора-излучателя от подаваемого высокого напряжения и продолжительности работы.

Отметим, что температура электродов возрастает с увеличением напряжения и времени работы озонатора-излучателя (рис. 6). Стабильная работа озонаторного устройства на коронном разряде обеспечивается при температуре электродов не более 30°C , что достигается регулированием напряжения или временем работы установки.

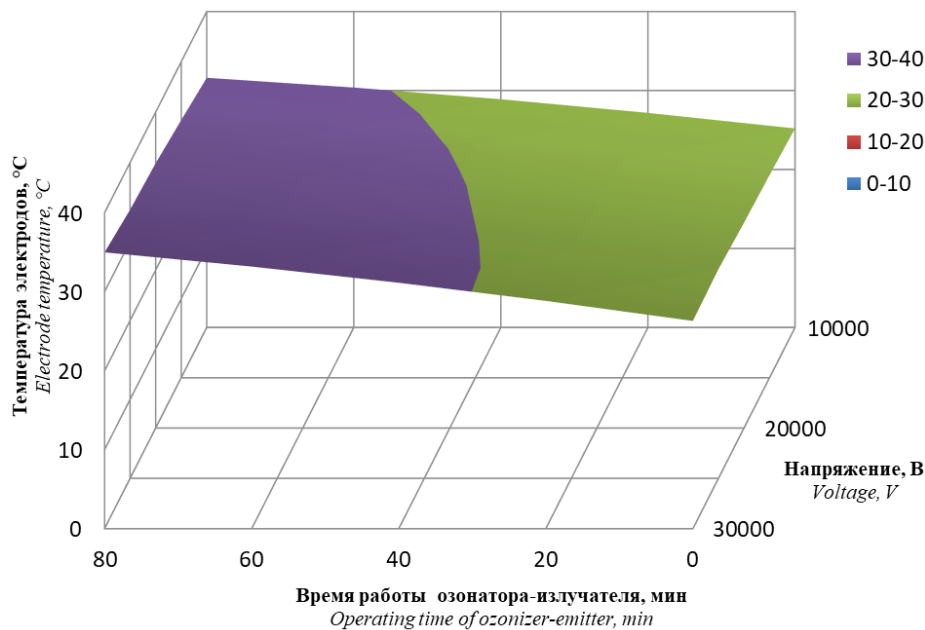


Рис. 6. Температура электродов озонатора-излучателя в зависимости от напряжения и продолжительности работы установки

Fig. 6. Temperature of the electrodes of the ozonizer-emitter depending on the voltage and operation time of the installation

Выводы

1. Озонообразование зависит от напряженности электрического поля между разнопотенциальными электродами. Увеличение напряженности происходит с уменьшением радиуса электродов. Максимальное значение напряженности при разрядном промежутке 25...35 мм достигается при радиусе электрода менее 2 мм.

Список источников

1. Маневич Б.В., Кузина Ж.И., Харитонов Е.Б., Косьяненко Т.В. Санитарная обработка: баланс безопасности и эффективности. Обеззараживание воздуха в производственных помещениях // Молочная промышленность. 2019. № 6. С. 52-55. EDN: ZKEUYX
2. Сторчевой В.Ф., Сучугов С.В., Компаниец А.Е. Создание озонно-ионной воздушной среды в закрытых помещениях для содержания животных и птицы // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 3 (91). С. 35-39. <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-3-35-39>
3. Трощая Т.П., Голубец И.Е., Генселевич А.Р., Мионов А.М., Грищук В.М. Санитарная обработка технологического оборудования и производственных помещений на предприятиях молочной промышленности методом озонирования // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Материалы Международной научно-практической конференции, г. Минск, 21-22 октября 2009 г. Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2009. Т. 2. С. 14-20. EDN: XPXYXR
4. Афанасьев М.А., Копылова О.С., Ивашина А.В., Антоненко А.И., Константинова Е.Е. Технологии очистки озоном // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: 80-я научно-практическая конференция, Ставрополь, 9 марта – 29 мая 2015 г. Ставрополь: АГРУС, 2015. Т. 1. С. 32-37. EDN: UWKRUZ
5. Сторчевой В.Ф., Компаниец А.Е. Применение озонатора-ионизатора на молочных фермах // Доклады ТСХА. 2019. Т. 291. Ч. 2. С. 294-296. EDN: ZFBZVB
6. Бородин И.Ф., Самарин Г.Н. Энергосберегающая система микроклимата ферм с обеззараживателем воздуха // Труды Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». 2008. Т. 3. С. 289-291. EDN: PHGYIJ
7. Самарин Г.Н., Соловьев М.С., Степанов П.В. Энергосберегающая рециркуляционная система микроклимата животноводческих ферм с обеззараживателем воздуха // Труды Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». 2012. Т. 3. С. 256-261. EDN: PEYEBV
8. Першин А.Ф. Устранение озоном дурно пахнущих выбросов птицеводческих предприятий // Птицеводство. 2013. № 12. С. 38-40. EDN: RTHKXJ
9. Озонатор: Патент RU2523805 C1, МПК C01B13/11. № 2013105279/05 / Д.В. Лебедев, П.С. Кузьменко, М.О. Якименко, И.Д. Лебедев; заявл. 07.02.2013; опубл. 27.07.2014. EDN: YPZZRQ
10. Юфев Л.Ю., Селезнева Д.М. Испытания комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания

2. Стабильность процесса озонообразования зависит от температуры электродов. Эффективная работа озонатора-излучателя достигается при достижении температуры электродов не более +30°C. Это условие можно обеспечить, управляя напряжением на излучателе или продолжительностью работы озонатора.

3. В дальнейшем планируется внедрить разработанный электроозонатор в систему вентиляции и кондиционирования в помещении с животными.

References

1. Manevich B.V., Kuzina J.I., Haritonova E.B., Kosiyanenkov T.V. Sanitary treatment: balance of safety and efficiency. *Dairy industry*. 2019;6:52-55. (In Russ.)
2. Storchevov V.F., Suchugov S.V., Kompaniets A.Ye. Providing ozone-ion air indoor environment for keeping livestock and poultry. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019;3:35-39. (In Russ.). <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-3-35-39>
3. Trotskaya T.P., Holubets I.E., Genselevich A.R., Mironov A.M., Grischuk V.M. Desinfection of the technological equipment and production premises on enterprise of milk industry by ozone method. *Proceedings of International scientific-and-practical conference "Nauchno-tehnicheskij progress v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve"*. Minsk, Nauchno-prakticheskij tsentr natsionalnoy akademii nauk Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva, 2009. Pp. 14-20. (In Russ.)
4. Afanasev M.A., Kopylova O.S., Ivashina A.V., Antonenko A.I., Konstantinova E.E. Ozone cleaning technology. *Proceedings of 80th Scientific-and-practical conference "Metody i tekhnicheskie sredstva povysheniya effektivnosti ispolzovaniya elektrooborudovaniya v promyshlennosti i sel'skom khozyaystve"*. Stavropol, Stavropol State Agrarian University, 2015. Pp. 32-37. (In Russ.)
5. Storchevov V.F., Kompaniets A.E. Use of an ozonizer-ionizer on dairy farms. *Doklady TSKHA*. 2019;291(II):294-296. (In Russ.)
6. Borodin I.F., Samarin G.N. Energy-saving farm indoor climate system with air disinfection. *Proceedings of International scientific technical conference "Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom khozyaystve"*. 2008;3:289-291. (In Russ.)
7. Samarin G.N., Soloviev M.S., Stepanov P.V. Energy-saving recirculating indoor climate system for livestock farms with air disinfection. *Proceedings of International scientific technical conference "Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom khozyaystve"*. 2012;3:256-261. (In Russ.)
8. Pershin A.F. Use of ozone to eliminate smelling emissions from poultry enterprises. *Ptitsevodstvo*. 2013;12:38-40. (In Russ.)
9. Lebedev D.V., Kuzmenko P.S., Yakimenko M.O. et al. Ozonizer: patent No. RU2523805 C1, 2014.
10. Yuferev L.Yu., Selezneva D.M. Testing a combined electrical installation for dust deparation and air disinfection in a poultry house. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(3):45-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-45-50>
11. Shevchenko A.A., Fedorov I.I. The analysis of designs of electroozonizers for preseeding processing of seeds. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2016;116:720-735. (In Russ.)
12. Manuylenko A.N., Vendin S.V. Electric air ozonator: patent No. RU205379 C1, 2021.
13. Manuylenko A.N., Vendin S.V. Electric air ozonator: patent No. RU204184 C1, 2021.

вания воздуха в птичнике // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24, № 3. С. 45-50. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-45-50>

11. Шевченко А.А., Федоров И.И. Анализ конструкций электроозонаторов для предпосевной обработки семян // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета* 2016. № 116. С. 720-735. EDN: VQUVQF

12. Электрический озонатор воздуха: Патент RU205379 U1, МПК C01B13/11. № 2020141915 / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин; заявл. 23.03.2020; опубл. 13.07.2021. EDN: PWBBIY

13. Электрический озонатор воздуха: Патент RU204184 U1, МПК C01B13/11, F24F 3/16, B01J 7/00. № 2020142852 / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин; заявл. 23.12.2020; опубл. 13.05.2021. EDN: APGYTM

14. Электроозонатор: Патент RU2787881 C1, МПК C01B13/11 / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин; № 2021138949; заявл. 24.12.2021; опубл. 13.01.2023. EDN: XVVZKY

15. Мануйленко А.Н., Вендин С.В. Конструкция электрического озонатора для обеззараживания воздушных масс в животноводческом помещении // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2022. № 3 (35). С. 64-71. EDN: APOYPI

Информация об авторах

Владимир Федорович Сторчевой¹, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Теоретическая электротехника», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); 125993, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>; V_Storchevoy@mail.ru

Юрий Александрович Судник², д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; <https://orcid.org/0000-0003-3725-9860>; sudnik@rgau-msha.ru

Александр Николаевич Мануйленко³, преподаватель кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК; Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина; 308503, Российская Федерация, Белгородская обл., Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1; <https://orcid.org/0009-0001-9138-9562>; manuylenko_an@bsaa.edu.ru

Вклад авторов

В.Ф. Сторчевой – анализ и доработка текста, научное руководство;

Ю.А. Судник – анализ и доработка текста, научное руководство; А.Н. Мануйленко – постановка проблемы, разработка концепции статьи, анализ литературы и сбор статистических данных, описание результатов и формирование выводов исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 27.03.2024; поступила после рецензирования и доработки 09.09.2024; принята к публикации 11.09.2024

14. Manuylenko A.N., Vendin S.V. Electric ozonator; patent No. RU2787881 C1, 2023.

15. Manuylenko A.N., Vendin S.V. Design of electric ozonizer for disinfecting air masses in livestock house. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2022;3(35):64-71. (In Russ.)

Author Information

Vladimir F. Storchevoy¹, DSc(Eng), Professor, Professor of the Department of Theoretical Electrical Engineering; Moscow Aviation Institute (National Research University); Volokolamskoe Road, 4, Moscow, 125993, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>; V_Storchevoy@mail.ru

Yury A. Sudnik², DSc(Eng), Professor, Professor of the Department of Automation and Robotization of Technological Processes named after Academician I.F. Borodin; Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-3725-9860>; sudnik@rgau-msha.ru

Aleksandr N. Manuylenko³, Lecturer, the Department of Electrical Equipment and Electrical Technologies in the Agricultural Industry; Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin; Vavilova Str., 1, Maysky, Belgorod district, Belgorod region, 308503, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0001-9138-9562>; manuylenko_an@bsaa.edu.ru

Author Contribution

V.F. Storchevoy – writing – revising and editing of the manuscript, research supervision;

Y.A. Sudnik – writing – revising and editing of the manuscript, research supervision;

A.N. Manuylenko – problem statement, conceptualization, literature review, statistical data collection and curation, summarizing the results; making conclusions.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 27.03.2024; Revised 09.09.2024; Accepted 11.09.2024.