

УДК 62-932.4

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОЗОНАТОР ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Вендин С.В., Мануйленко А.Н.

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»,
п. Майский, e-mail: elapk@mail.ru, manuylenko_an@bsaa.edu.ru

Современное животноводство и птицеводство перешли на технологию выращивания в закрытых производственных помещениях. Следовательно, основными задачами аграрного производства являются обеспечение и поддержание зоотехнических и ветеринарно-санитарных норм качества воздушной среды в целях соблюдения ограничительных мер и профилактики распространения заразных болезней животных. В данной работе к рассмотрению предлагается разработанная конструкция электрического озонатора, работающего на основе коронирующего разряда, для улучшения показателей качества воздушной среды в производственном помещении. Новизной устройства является излучатель. Конструкция разработанного излучателя предусматривает регулировку воздушного зазора между керамическими основаниями и электродами, благодаря чему обеспечивается регулировка производительности по озону. Достоинствами предлагаемой конструкции электрического озонатора воздуха представляются обеспечение надежности работы за счет отключения в случае перегрева и критической концентрации озона внутри помещения в одном месте за счет флюгера, датчиков озона и температуры блока центрального управления. На основе экспериментальных исследований выявлена зависимость влияния конструктивных параметров электроозонатора на изменение концентрации озона. Установлено, что концентрация озона возрастает с увеличением напряжения и уменьшением расстояния разрядного промежутка, что соответствует общим теоретическим положениям. Выявлено, что для предлагаемой конструкции электроозонатора наибольшие значения концентрации озона (до 10 мг/м³) можно получить при напряжении 30 кВ и разрядном промежутке 25 мм.

Ключевые слова: производственное помещение, воздушная среда, качество воздуха, оздоровление, озон, озонирование, электроозонатор, коронный разряд

ELECTRIC AIR OZONATOR BASED ON CORONA DISCHARGE FOR LIVESTOCK PREMISES

Vendin S.V., Manuilenko A.N.

Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin, Maiskiy,
e-mail: elapk@mail.ru, manuylenko_an@bsaa.edu.ru

Modern animal husbandry and poultry farming has switched to the technology of growing in closed production premises. Consequently, one of the main tasks of agricultural production is to ensure and maintain zootechnical and veterinary-sanitary standards of air quality, for restrictive measures and prevention of the spread of infectious animal diseases. The developed design of an electric ozonator operating on the basis of a corona discharge is proposed to improve the quality of the air environment in the production room. The distinctive novelty of the device is the radiator. The design of the developed radiator provides for the adjustment of the air gap between the ceramic bases and the electrodes, which ensures the adjustment of ozone performance. The advantages of the proposed design of an electric air ozonator are to ensure reliable operation by disconnecting in case of overheating and critical concentration of ozone indoors in one place due to a weather vane, ozone and temperature sensors, and a central control unit. On the basis of experimental studies, the dependence on the influence of the design parameters of the electric detonator on the change in ozone concentration was revealed. It is established that the concentration of ozone increases with increasing voltage and decreasing the distance of the discharge gap, which corresponds to the general theoretical provisions. It is revealed that for the proposed design of the electric detonator, the highest values of ozone concentration (up to 10 mg / m³) can be obtained at a voltage of 30 kV and a discharge interval of 25 mm.

Keywords: industrial premises, air environment, air quality, health improvement, ozone, ozonation, electric detonator, corona discharge

Заболевания сельскохозяйственных животных серьезно ограничивают продуктивность животных и развитие животноводства, чем значительно дестабилизируют экономическое развитие сельскохозяйственных регионов страны. Установлено, что наибольшую опасность с точки зрения заражения сельскохозяйственных животных представляет воздушная среда в помещении. В случае возникновения заражения животных болезнетворными микроорганизмами воз-

никает опасность эпидемии, приводящей к ежегодному ущербу, причиняемому животноводству болезнями и падежом, порядка 15–20% от стоимости продукции. Поэтому разработка технических средств, способствующих улучшению показателей качества воздушной среды в производственном помещении, является актуальной научной задачей [1–3].

В настоящее время применяются следующие способы регулирования качества

воздушной среды в производственных помещениях: *механический, физический, химический, биологический, комбинированный*. Одним из эффективных способов оздоровления и улучшения газового состава воздушной среды является озонирование. При этом свою технологическую эффективность доказали электроозонаторные установки, реализующие различные физические принципы получения озона, в том числе и работающие на основе коронирующего разряда [3–7].

Цель исследования и научная новизна представленных исследований состоит в разработке конструкции электрического озонатора для улучшения показателей качества воздушной среды и санитарного состояния производственных помещений. При этом задачи исследований включали: анализ известных технических решений, разработку конструкции электрического озонатора воздуха, работающего на основе коронирующего разряда, а также проведение теоретических и экспериментальных исследований.

Материалы и методы исследования

Методология исследований предполагала использование методов патентного поиска, теории процессов электроозонирования, методов математической статистики и планирования эксперимента применительно к электрофизическим способам улучшения показателей качества воздушной среды в производственных помещениях, а также методов регрессионного анализа с графическим представлением результатов эксперимента.

Результаты исследования и их обсуждение

В представленных исследованиях в качестве прототипа была выбрана электроозонаторная установка, работающая на основе коронирующего разряда и состоящая из источника высокого напряжения, электродов и вентилятора [8]. Недостатками данной установки являются отсутствие защиты от включения и выключения устройства в случае отказа работы вентилятора или выхода из строя генератора высокого напряжения, а также низкая надежность электродов из-за коаксиального расположения их с диэлектриком, что может привести к пробоем электрического разряда непосредственно на корпус установки.

Поэтому для исключения имеющихся недостатков в ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ на кафедре «Электрооборудование и электротехнологии в АПК» была

разработана новая конструкция излучателя электроозонатора на коронном разряде. Излучатель выполнен в виде двух керамических оснований с закрепленными на них вольфрамовыми электродами, на одном основании – в виде сетки, имеющей сотовую форму ячейки, на другом – в виде иглы. Конструкция разработанного излучателя предусматривает регулировку воздушного зазора между керамическими основаниями и электродами, благодаря чему обеспечивается регулировка производительности излучателя на одном источнике высокого напряжения [9–11]. Схема и внешний вид излучателя представлены на рисунке 1.

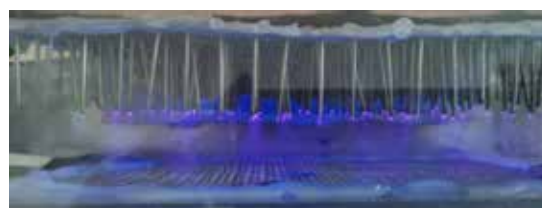
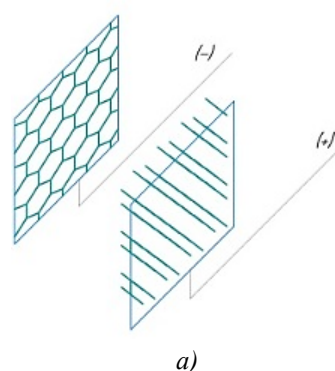


Рис. 1. Схема (а) и внешний вид (б) излучателя

Общая технологическая схема конструкции электрического озонатора воздуха, работающего на основе коронирующего разряда, представлена на рисунке 2.

В качестве регулируемого генератора высокого напряжения используется импульсный источник. На конденсаторах развивается удвоенное амплитудное значение входного напряжения. Соответственно, конденсаторы и диоды схемы могут быть рассчитаны на необходимое напряжение. Выходящее напряжение генератора высокого напряжения определяется по следующей формуле:

$$U_{\text{вых}} = n \cdot U_{\text{вх}}, \quad (1)$$

где n – количество каскадов, шт;

$U_{\text{вх}}$ – входящее напряжение на умножитель, $U_{\text{вх}} = 220$ В.

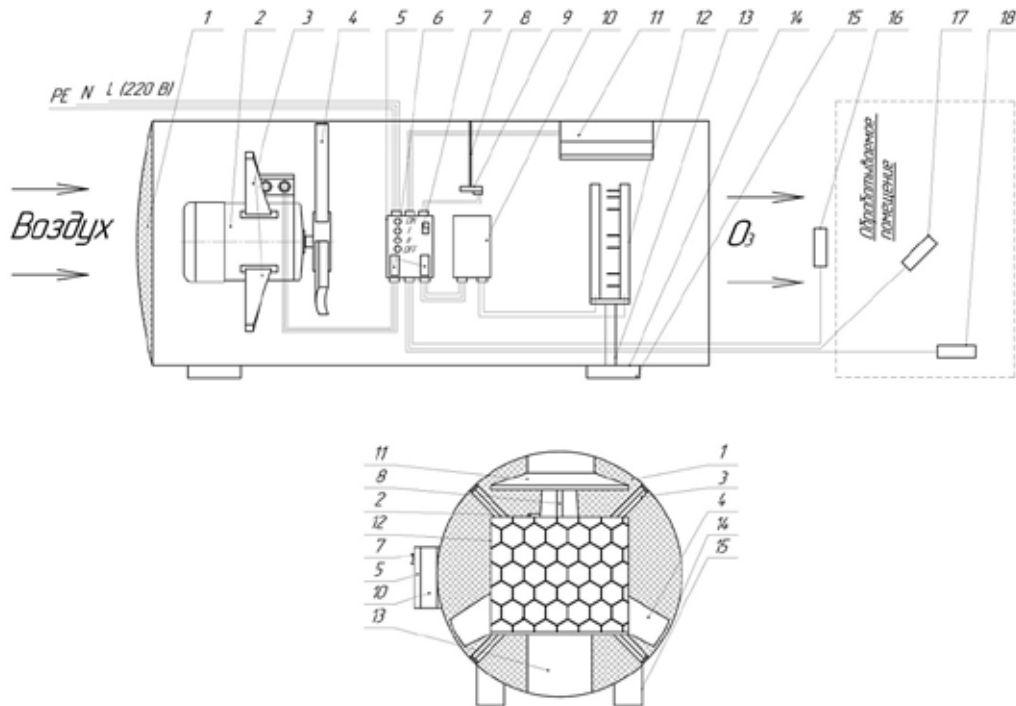


Рис. 2. Конструкция электрического озонатора воздуха, работающего на основе коронирующего разряда:

- 1 – защитная сетка; 2 – электродвигатель; 3 – лапки крепления электродвигателя; 4 – лопасти вентилятора; 5 – блок управления; 6 – предохранители; 7 – кнопка включения/выключения; 8 – кронштейн крепления; 9 – вакуумный флюгер; 10 – регулируемый генератор высокого напряжения; 11 – компрессор; 12 – излучатель; 13 – кронштейн крепления; 14 – озоноустойчивый корпус; 15 – прорезиненные ножки; 16 – датчик озона; 17 – датчик контроля озона; 18 – датчик контроля температуры воздуха

В соответствии с (1) для обеспечения выходного напряжения 20000–30000 В необходимо задействовать от 90 до 140 выходных каскадов. Конструкция электроозонатора позволяет обеспечить высокую производительность по озону. Компактность конструкции и возможность изменения числа модулей излучателя создают перспективу для изготовления как высокопроизводительных, так и малогабаритных маломощных переносных озонирующих устройств.

Производительность устройства по озону должна увязываться с производительностью системы вентиляции. Максимальный часовой расход озона при использовании принудительной вентиляции можно определить по формуле:

$$M_{O_3} = (L_B \cdot q_{O_3, max}) / k_{O_3}, \quad (2)$$

где L_B – подача воздушных масс в производственное помещение, м³/ч;

$q_{O_3, max}$ – максимальная расходная доза озона, мг/м³;

k_{O_3} – коэффициент эффективности использования озона.

Ниже на рисунке 3 приведена расчетная поверхность максимального часового расхода озона при максимальной расходной дозе озона 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 мг/м³.

Анализ приведенной расчетной поверхности показывает, что величина максимального часового расхода озона возрастает с увеличением подачи и максимальной расходной дозы озона.

Для проведения экспериментальных исследований был разработан и изготовлен опытный образец электрического озонатора воздуха, работающего на коронном разряде. Общий вид установки показан на рисунке 4.

На базе опытного образца электрического озонатора и комплекта электроизмерительных приборов был создан экспериментальный стенд для проведения исследований по выявлению взаимосвязи между техническими и электрическими параметрами работы озонатора и технологическими параметрами, определяющими процесс озонирования, включая концентрацию озона на выходе из рабочей зоны озонатора. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда представлена на рисунке 5.

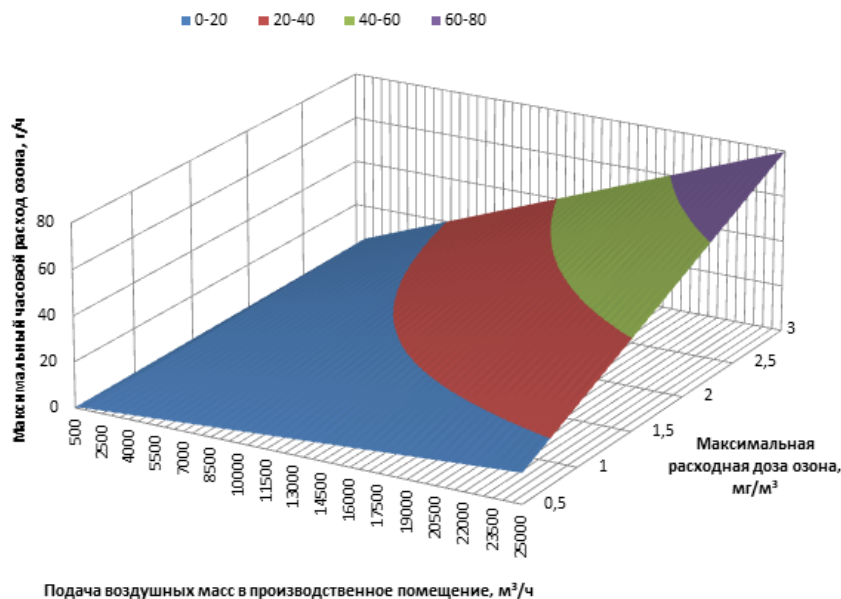


Рис. 3. Расчетная поверхность максимального часового расхода озона



Рис. 4. Разработанный опытный образец электрического озонатора воздуха на коронном разряде

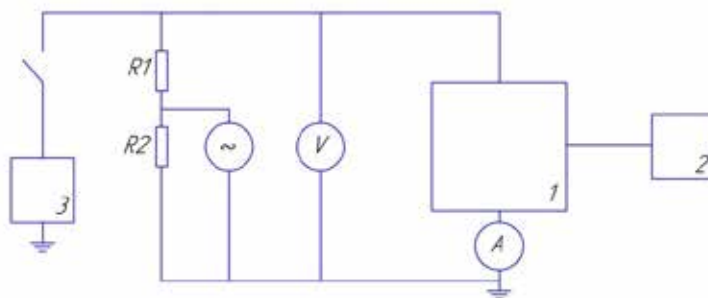


Рис. 5. Схема экспериментального стенда:
 1 – электрический озонатор воздуха; 2 – анализатор озона; 3 – генератор высокого напряжения;
 R1; R2 – делитель напряжения; ~ – осциллограф; V – вольтметр; A – амперметр

Экспериментальные исследования работы электрического озонатора проводились в соответствии с реализацией плана второго порядка Коно для 2-факторного эксперимента.

В качестве целевой функции была принята концентрации озона (мг/м³) в воздушной среде. Основные воздействующие факторы при проведении эксперимента представлены в таблице 1 [12].

Таблица 1

Целевая функция и основные воздействующие факторы эксперимента

Факторы	Кодированное значение фактора					Интервал варьирования
	-1	-0,5	0	+0,5	+1	
Напряжение на излучателе, кВ	20	22,5	25	27,5	30	2,5
Разрядный промежуток, мм	25	27,5	30	32,5	35	2,5

Таблица 2

Результаты эксперимента (с учетом дублирования опытов)

№	X_1	X_2	Y_{1n}	Y_{2n}	Y_{3n}	Y_{4n}	Y_{cp}	S_n^2	S_{n1}^2	S_{n2}^2	S_{n3}^2	S_{n4}^2
1	-	-	3,22	2,91	3,63	2,63	3,098	0,5522	0,015	0,0352	0,2836	0,2186
2	+	-	0,09	0,12	0,16	0,18	0,138	0,0048	0,0023	0,0003	0,0005	0,0018
3	-	+	9,71	9,18	8,71	9,96	9,390	0,9338	0,1024	0,0441	0,4624	0,3249
4	+	+	3,82	3,28	4,22	3,48	3,700	0,5096	0,0144	0,1764	0,2704	0,0484
5	-	0	6,12	6,38	6,92	5,83	6,313	0,6435	0,0371	0,0046	0,3691	0,2328
6	+	0	1,7	1,85	2,4	1,6	1,888	0,3819	0,0352	0,0014	0,2627	0,0827
7	0	-	1,65	2,15	1,48	2,32	1,900	0,4778	0,0625	0,0625	0,1764	0,1764
8	0	+	7,85	7,35	8,2	6,97	7,593	0,8817	0,0663	0,0588	0,3691	0,3875
9	0	0	4,85	5,34	4,38	4,29	4,715	0,7017	0,0182	0,3906	0,1122	0,1806

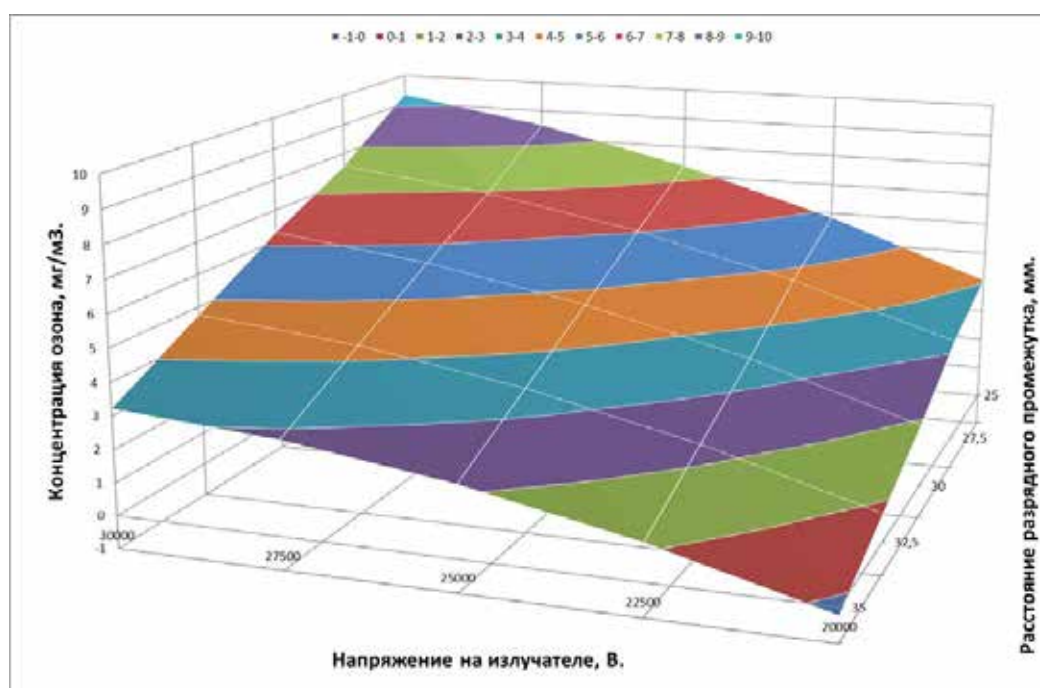


Рис. 6. Изменение концентрации озона в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и расстояния разрядного промежутка

Проведение эксперимента происходило при следующих условиях: площадь излучателя: 180 см²; диаметр игольчатого электрода: 2 мм; размер ячейки сетчатого электрода: 3,5х3,5 мм; температура воздуха: 21°C; влажность воздуха: 64%;

скорость воздушных масс: 0,5 м/с.; продолжительность работы между замерами: 20 мин. Результаты эксперимента (с учетом дублирования опытов) представлены в таблице 2. Данные заполняются согласно расчетной матрице.

Полученная по экспериментальным данным математическая модель влияния напряжения на излучателе, кВ (x_1), и разрядного промежутка между электродами, мм (x_2), на концентрацию озона (мг/м^3) (y) в кодированных переменных имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{1,2}x_1x_2 + b_{11}x_1^2, \quad (3)$$

где $b_0 = 4,74$, $b_1 = -2,18$, $b_2 = 2,59$, $b_{1,2} = -0,46$, $b_{11} = -0,6483$ – коэффициенты регрессионного уравнения.

Коэффициенты уравнения являются значимыми, адекватность модели удовлетворяет критерию Фишера ($F_{\text{рас}} = 2,88 \leq F_{\text{табл}} = 3,16$). На рисунке 6 представлена построенная по уравнению (3) расчетная поверхность изменения концентрации озона в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и расстояния разрядного промежутка.

Согласно приведенной поверхности следует отметить, что концентрация озона возрастает с увеличением напряжения и уменьшением расстояния разрядного промежутка, что согласуется с общими теоретическими положениями об образовании озона при коронном разряде. Установлено также, что для исследуемой конструкции электроозонатора наибольшие значения концентрации озона (до 10 мг/м^3) достигаются при напряжении 30 кВ и воздушном промежутке 25 мм. Увеличение напряжения и уменьшение воздушного промежутка приводят к нарушению озонообразования с переходом в обыкновенный электрический разряд, что недопустимо.

Заключение

Получены новые результаты по разработке электрического озонатора для обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях. На основе материалов исследований можно сделать следующие выводы.

Разработана конструкция электрического озонатора воздуха, работающего на основе коронирующего разряда, и системы озонирования воздуха, достоинствами которой являются: обеспечение надежности работы; защита от перегрева и критической концентрации озона внутри помещения в одном месте; обеспечение равномерности дезинфекции помещения.

При проведении экспериментальных исследований выявлена зависимость влияния конструктивных параметров электроозонатора на выход озона. Установлено, что концентрация озона возрастает с увеличением напряжения и уменьшением расстояния разрядного промежутка, что согласуется с общими теоретическими положениями об образовании озона при коронном разряде. Установлено, что для предлагаемой

конструкции электроозонатора наибольшие значения концентрации озона (до 10 мг/м^3) можно получить при напряжении 30 кВ и воздушном промежутке 25 мм. Увеличение напряжения и уменьшение воздушного промежутка приводят к нарушению озонообразования с переходом в обыкновенный электрический разряд, что недопустимо.

На основе проведенных экспериментальных исследований можно утверждать, что конструкция электрического озонатора в полной мере обеспечивает требуемые значения концентрации озона на выходе из озонатора. Применение разработанного электрического озонатора в системе вентиляции и кондиционирования будет способствовать улучшению показателей качества воздушной среды в производственном помещении.

Список литературы

1. Афанасьев М.А., Копылова О.С., Ивашина А.В., Антоненко А.И. Технологии очистки озоном // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве 80-я научно-практическая конференция. Ставрополь: Ставропольский ГАУ, 2015. С. 32–37.
2. Сторчевой В.Ф., Чернов Р.Ю. Снижение потерь энергетических показателей электроозонаторов // Природообустройство. 2011. № 2. С. 95–98.
3. Бардакова Е.А., Андреянов С.А. Применение озонирования как наиболее экологического метода дезинфекции // Энергия будущего: В рамках рынка НТИ ЭНЕРДЖИНЕТ: сборник трудов научно-практической конференции молодых ученых электроэнергетического факультета. Ставрополь: АГРУС, 2021. С. 33–35.
4. 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 «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. № 3 (91). С. 35–39.
5. Сторчевой В.Ф., Компаниец А.Е. Применение озонатора-ионизатора на молочных фермах // Доклады ТСХА. 2019. С. 294–296.
6. Сторчевой В.Ф., Компаниец А.Е., Кабдин Н.Е. Исследование параметров и режимов работы озонатора-ионизатора для молочных ферм // Агроинженерия. 2020. № 3 (97). С. 50–54.
7. Горбатовский Е.С., Вендин С.В. Применение электроозонирования воздуха в птичнике // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: материалы Международной студенческой научной конференции. Майский: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. С. 48.
8. Лебедев Д.В., Кузьменко П.С., Якименко М.О., Лебедев И.Д. Озонатор // Патент РФ № 2523805. Патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ. 2014. Бюл. № 21. 5 с.
9. ГОСТ 31829-2012. Оборудование озонаторное. Требования безопасности. Введ. 01 января 2014. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.
10. Мануйленко А.Н., Вендин С.В. Электрический озонатор воздуха // Патент РФ № 205379. Патентообладатель ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 2021. Бюл. № 20. 5 с.
11. Мануйленко А.Н., Вендин С.В. Электрический озонатор воздуха // Патент РФ № 204184 Патентообладатель ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 2021. Бюл. № 14. 6 с.
12. Баженов В.И., Стрельченко А.Н. Основы планирования и моделирования в теории инженерного эксперимента. М.: МАИ, 1983. 59 с.