

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА /
POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

УДК 631.81/631.5/539.1.07/ 546.02

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-50-54

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОЗОНАТОРА-ИОНИЗАТОРА ДЛЯ МОЛОЧНЫХ ФЕРМ

СТОРЧЕВОЙ ВЛАДИМИР ФЁДОРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: V_Storchevoy@mail.ru

КАБДИН НИКОЛАЙ ЕГОРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент

E-mail: energo-nek@rgau-msha

КОМПАНИЕЦ АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ, аспирант

E-mail: kompaniets.a@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49

Существующие способы обеззараживания молока связаны с большими энергозатратами. Перспективным представляется способ обработки молока озоном и отрицательными ионами. Представлена экспериментальная установка для определения параметров и режимов работы озонатора-ионизатора для молочных ферм, включающая воздушный компрессор, высоковольтный трансформатор, камеру генерации озono-ионной смеси, озонатор, измеритель концентрации озона, вольтметр и амперметр. На основе зависимостей концентрации озона от времени работы озонатора при разной площади обкладки диэлектрика и производительности установки по озону от электроёмкости установки и рабочего напряжения на обкладках определены критерии оптимизации, которые в большей степени влияют на эффективность работы ионизатора. В результате получены регрессионные уравнения, которые позволили определить параметры озонатора-ионизатора и режимы его работы для молочных ферм: общая ёмкость ионизатора 1,5 мкФ; ток разряда 75 мА; температура +283 К, влажность 67%. Установлено, что увеличение концентрации озона от 50 до 600 мг/м³ зависит от приложенного напряжения. Максимальная концентрация озона в камере достигается через 30 секунд после включения озонатора. Через 6 минут после его отключения концентрация озона снижается практически до нуля. Площадь обкладок озонатора оказывает нелинейное влияние на концентрацию озона.

Ключевые слова: озонирование, ионизация, антибактериальная обработка, озонатор-ионизатор, микрофлора, пастеризация, сепарация молока.

Формат цитирования: Сторчевой В.Ф., Кабдин Н.Е., Компаниец А.В. Исследование параметров и режимов работы озонатора-ионизатора для молочных ферм // Агроинженерия. 2020. № 3(97). С. 50-54 DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-50-54.

STUDY OF OPTIONS AND OPERATING MODES OF AN OZONATOR-IONIZER USED ON DAIRY FARMS

VLADIMIR F. STORCHEVOY, DSc (Eng), Professor

E-mail: V_Storchevoy@mail.ru

NIKOLAY Ye. KABDIN, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: energo-nek@rgau-msha.ru

ALEKSANDR E. KOMPANIETS

E-mail: kompaniets.a@yandex.ru

Russian Timiryazev State Agrarian University; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

The authors claim that the existing methods of disinfecting milk are associated with high energy costs. A method for treating milk with ozone and negative ions seems to be promising. The paper presents an experimental unit for determining the parameters and operating modes of an ozonizer-ionizer to be used on dairy farms, including an air compressor, a high-voltage transformer,

an ozone-ion mixture generation chamber, an ozonizer, an ozone concentration meter, a voltmeter, and an ammeter. Based on the relationship between the ozone concentration and the operating time of the ozonizer for different dielectric plate areas as well as the ozone capacity of the unit and its electric capacity and operating voltage on the plates, optimization criteria that have a greater effect on the ionizer efficiency were determined. As a result, regression equations were obtained that made it possible to determine the parameters of the ozonizer-ionizer and its operating modes for dairy farms: the total ionizer capacity is 1.5 μF ; discharge current – 75 mA; temperature +283 K, and humidity 67%. It was found that an increase in ozone concentration from 50 to 600 mg/m^3 depends on the applied voltage. The maximum concentration of ozone in the chamber is reached 30 seconds after turning on the ozonizer. Six minutes after its turning off, the ozone concentration is reduced to almost zero. The total area of ozonator plates has a nonlinear effect on ozone concentration.

Key words: ozonation, ionization, antibacterial treatment, ozonizer-ionizer, microflora, pasteurization, milk separation.

For citation: Storchevoy V.F., Kabdin N.Ye., Kompaniets A.E. Study of options and operating modes of an ozonator-ionizer used on dairy farms // *Agricultural Engineering*, 2020; 3(97): 50-54. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-50-54.

Введение. В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации молочная промышленность является стратегически важной отраслью животноводства. При этом уже многие годы существует дефицит молочной продукции отечественного производства. На данный момент в стране производится всего порядка 80% потребляемого молока [1, 2].

Значительным фактором в увеличении срока хранения молока является соблюдение санитарно-гигиенических норм на всех этапах его производства. Первым этапом очистки молока является первичная обработка молока, которая включает в себя охлаждение и сепарирование с применением центробежных сепараторов-очистителей, целью которого является полная очистка молока от включений и примесей. Второй этап – это антибактериальная обработка молока. Основным промышленным способом антибактериальной обработки является термическое воздействие (стерилизация, пастеризация, ультрапастеризация).

Основной недостаток термической обработки заключается в том, что при термическом воздействии изменяются первоначальные физико-химические свойства молока. Соответственно, чем выше температура обработки, тем сильнее изменения.

Озон – высокоэффективное и универсальное окисляющее вещество, которое используется в промышленности в целях дезинфекции, устранения цвета и запаха, а также для удаления опасных органических соединений [3-5].

Озонирование осуществляется на этапе нормализации. Продолжительность контакта озono-ионной смеси с молоком при обработке колеблется от 5 до 15 минут в зависимости от производительности установок. Дозировка озона регулируется в зависимости от обсеменённости бактериями молока и его температуры [6].

В результате исследований Института озонотерапии и медоборудования установлено, что при обработке молока озono-ионной смесью концентрацией 40 mg/l в течение 20 минут происходит полное уничтожение кишечной палочки, грибов, сальмонеллы и т.д. [2]. Это позволяет рассматривать метод обработки озono-ионной смесью сырого молока как альтернативу энергоёмкой термической обработке молока.

В молочной промышленности озонирование уже успешно применяется для дезинфекции молокопроводов [1, 2].

Однако промышленных образцов оборудования для обработки молока в настоящее время не существует.

Цель исследований – обоснование параметров озонатора-ионизатора и режимов его работы для молочных ферм.

Материал и методы. Используются методы физико-химического и математического моделирования. Обработка результатов исследований проводилась в программе *Statistica 8*.

Авторами предлагается использовать на молочных фермах проточный озонатор-ионизатор – малогабаритный, энергосберегающий прибор, позволяющий получать на выходе однократную и регулируемую концентрацию по отрицательным ионам (400...500 $\text{pKл}/\text{m}^3$) и озону (40 mg/l) в течение 20 мин работы озонатора.

С целью определения параметров и режимов работы озонатора-ионизатора для молочных ферм составлена экспериментальная установка, представленная на рисунке 1.

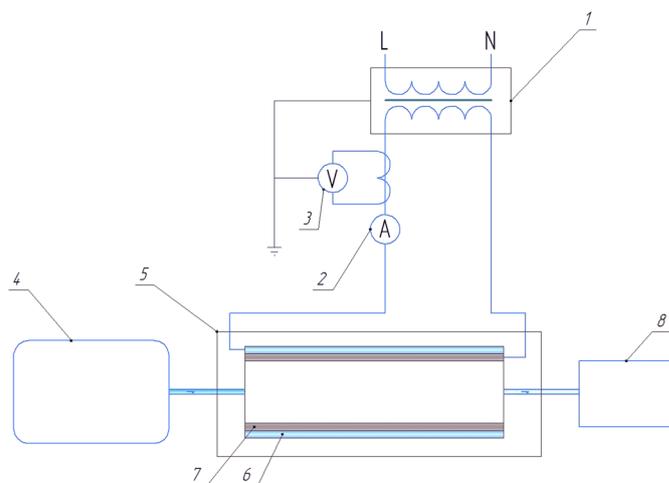


Рис. 1. Экспериментальная установка для определения параметров и режимов работы озонатора-ионизатора для молочных ферм:

- 1 – высоковольтный трансформатор ТГМ-1020;
- 2 – амперметр ЭА72; 3 – киловольтметр С-96;
- 4 – воздушный компрессор озонатор;
- 5 – камера генерации озono-ионной смеси;
- 6 – внешняя обкладка озонатора;
- 7 – внутренняя обкладка озонатора;
- 8 – газоанализатор озона 3.02.П

Fig. 1. Experimental unit for determining the parameters and operating modes of the ozonizer-ionizer for dairy farms:

- 1 – high-voltage transformer TGM-1020; 2 – ammeter EA72;
- 3 – kilovoltmeter S-96; 4 – an air compressor-ozonizer;
- 5 – a chamber for generating an ozone-ion mixture;
- 6 – the outer lining of an ozonizer;
- 7 – the inner lining of an ozonizer;
- 8 – gas analyzer ozone 3.02.P

Для измерения концентрации озона использовался хемилюминесцентный газоанализатор озона 3.02.П, концентрацию отрицательных ионов в реакционной камере 5 определяли прибором Т-8401. Ток вторичной обмотки измерялся при помощи амперметра ЭА72, диапазон значений переменного тока 0...100 мА. Напряжение вторичной обмотки измерялось статическим киловольтметром С-96. Источник высокого напряжения ТГМ-1020 (номинальное вторичное напряжение

при холостом ходе от 1,5 до 10 кВ, номинальная частота сети 50...60 Гц, номинальный вторичный ток (\pm) 20 мА.

Результаты и обсуждение. На рисунке 2 представлен график зависимости концентрации озона от времени работы озонатора при разной площади обкладки диэлектрика. Зависимость концентрации озона от времени работы озонатора при разной площади обкладки диэлектрика представлена на рисунке 3.

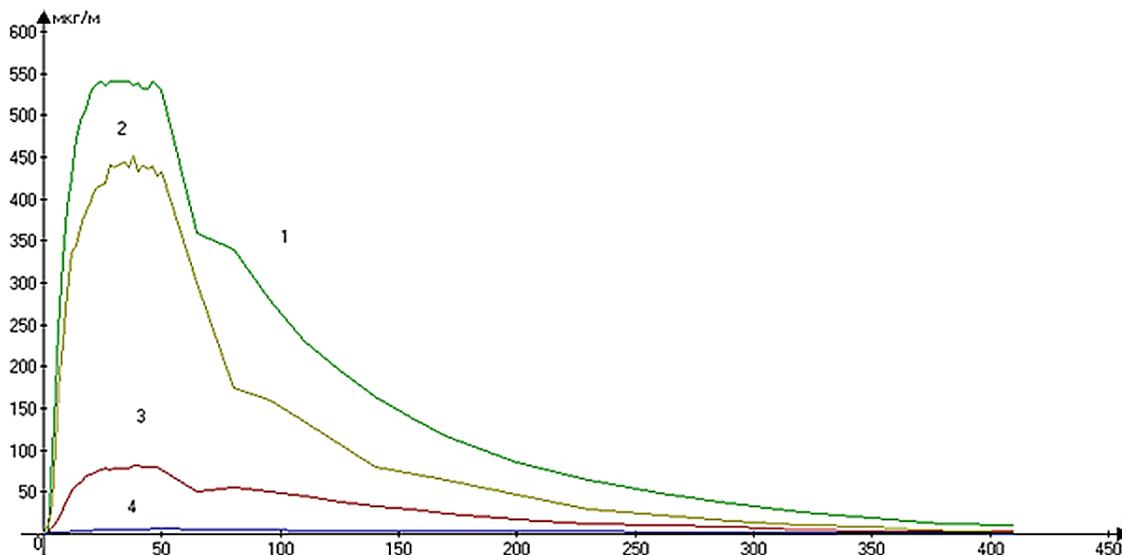


Рис. 2. Зависимость концентрации озона от времени работы озонатора при разной площади обкладки диэлектрика:
 1 – S = 165 см², U = 10 кВ; 2 – S = 80 см², U = 10 кВ;
 3 – S = 165 см², U = 3 кВ; 4 – S = 80 см², U = 3 кВ

Fig. 2. Relationship between ozone concentration and the operating time of the ozonizer for different surface areas of the dielectric lining:
 1 – S = 165 см², U = 10 кВ; 2 – S = 80 см², U = 10 кВ;
 3 – S = 165 см², U = 3 кВ; 4 – S = 80 см², U = 3 кВ

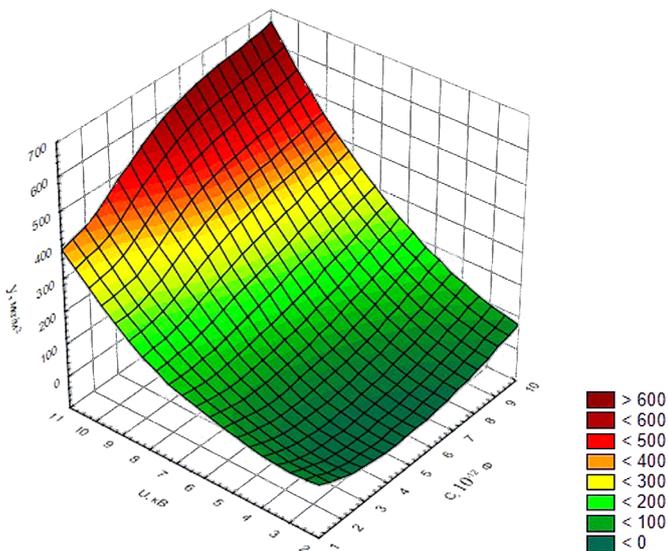


Рис. 3. Зависимость производительности установки по озону от электроемкости установки и рабочего напряжения на обкладках

Fig. 3. Relationship between the ozone unit output and the electric capacity of the unit and the operating voltage on the plates

Для достижения максимальной эффективности работы озонатора-ионизатора необходимо выявить соотношение определенных параметров, в большей степени влияющих на эффективность работы по отрицательным ионам. Параметры расчёта эффективности работы озонатора-ионизатора представлены в таблице.

В результате были получены поверхности откликов в программе *Statistica 8* (рис. 4).

Обработка результатов позволила получить регрессионные модели и эффективные режимы ионизации озонатора-ионизатора для молочных ферм:

$$C_{об} = 149 x_1 + 1,05x_2 + 0,0008x_1 x_2 - 0,0002x_2^2,$$

$$I_{раз} = 717,3065 - 690,783x_1 - 92,087x_2 + 1,2724x_1^2 - 0,3366x_1x_2 - 0,0209x_2^2,$$

$$T = 278,21 - 1,5625x_1 + 6,5571x_2 + 0,04x_1^2 + 0,2789 x_1 x_2 + 0,4743x_2^2,$$

$$W = 45 + 0,25x_1 \cdot 3,15x_2 - 1,04x_1^2 \cdot 1,58x_1 x_2,$$

где x_1, x_2 – варьируемые факторы совместимы и не коррелированы между собой.

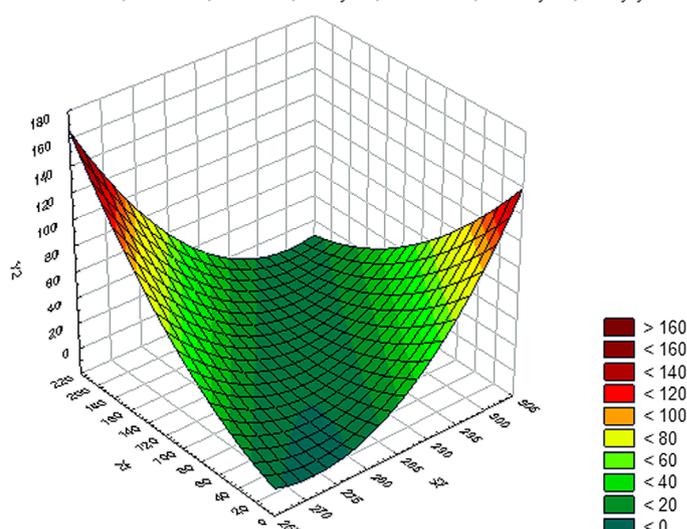
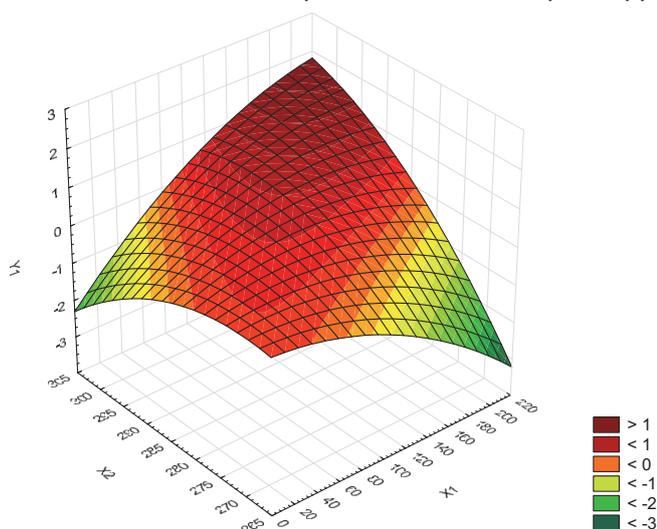
Параметры расчёта эффективности работы озонатора-ионизатора по отрицательным ионам

Parameters for analyzing the efficiency of the ozonizer-ionizer for negative ions

№	Общая ёмкость ионизатора, 10^{-12} , Ф <i>The total capacity of the ionizer, 10^{-12}, F</i> (Y1)	Ток разряда Iраз, мА <i>Discharge current Iраз, mA</i> (Y2)	Температура T, К <i>Temperature T, K</i> (Y3)	Влажность W, % <i>Humidity W, %</i> (Y4)
1	0,21	5	270	50
2	0,32	10	280	55
3	0,43	15	283	60
4	0,54	20	285	65
5	0,65	25	287	70
6	0,81	30	289	75
7	0,92	35	290	80
8	1,00	40	293	85
9	1,20	45	295	90
10	1,50	55	300	95

$Y1 = -149,0797 - 0,2272 \cdot x + 1,1055 \cdot y - 5,9714E - 5 \cdot x \cdot x + 0,0008 \cdot x \cdot y - 0,002 \cdot y \cdot y$

$Y2 = 717,3065 - 690,783 \cdot x + 92,0877 \cdot y + 1,2724 \cdot x \cdot x - 0,3366 \cdot x \cdot y + 0,0209 \cdot y \cdot y$



$Y3 = 278,2143 - 1,5625 \cdot x + 6,5571 \cdot y + 0,0402 \cdot x \cdot x - 0,2789 \cdot x \cdot y + 0,4743 \cdot y \cdot y$

$Y4 = 2816,3288 + 3,2882 \cdot x - 21,235 \cdot y - 0,0249 \cdot x \cdot x - 0,0065 \cdot x \cdot y + 0,0405 \cdot y \cdot y$

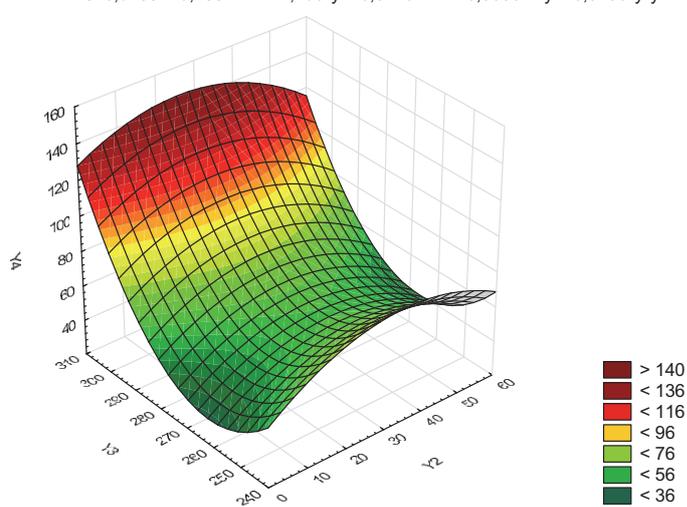
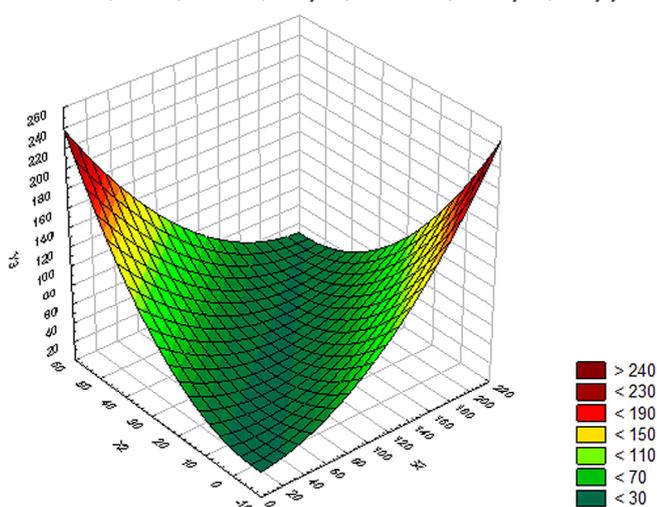


Рис. 4. Поверхности отклика
Fig. 4. Response surfaces

Выводы

1. Через 30 секунд после включения озонатора установка вырабатывает допустимый режим работы по концентрации озона, благодаря чему и достигается максимальная концентрация озона в камере. Соответственно, после отключения озонатора концентрация озона стремительно уменьшается и уже через 6 минут снижается практически до 0. Площадь обкладок озонатора оказывает нелинейное влияние на его производительность (концентрацию озона) (рис. 2).

2. Увеличение концентрации озона от 50 до 600 мг/м³ зависит от приложенного напряжения (от 3 до 10 кВ соответственно) (рис. 3).

3. Анализ регрессионных уравнений позволил выявить рациональные режимы работы установки, обеспечивающие минимум удельных энергетических затрат при оптимальном содержании отрицательно заряженных ионов на выходе из озонатора-ионизатора: общая ёмкость ионизатора 1,5 мкФ; ток разряда 75 мА; температура +283 К, влажность 67%.

Библиографический список

1. Белопухов С.Л., Сторчевой В.Ф. Озон и его применение в АПК: информационно-справочные материалы: монография. Иркутск: ООО «Мегапринт», 2018.
2. Сторчевой В.Ф., Компаниец А.Е. Применение озонатора-ионизатора на молочных фермах // В сборнике: Доклады ТСХА. 2019. С. 294-296.
3. Способ санации животноводческих помещений в присутствии животных: Патент RU2542504 C1 / В.И. Терехов, Д.А. Нормов, Н.Н. Курзин, В.Ф. Сторчевой, М.М. Абауи; заяв. 06.03.2014; опубл. 20.02.2015. Бюл. № 5.
4. Oskin S., Tsokur D., Voloshin S. Modeling the process of water bubbling with ozone to obtain the disinfectant solutions in beekeeping. Engineering for rural development. Jelgava, 22. 24.05.2019. p 1210-1214. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N412
5. Бородин И.Ф., Нормов Д.А. Электроозонные технологии в сельскохозяйственном производстве // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009. № 1. С. 85-86.
6. 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. DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-35-39.

Критерии авторства

Сторчевой В.Ф., Кабдин Н.Е., Компаниец А.В. выполнили теоретические исследования, на их основании провели эксперимент. Сторчевой В.Ф., Кабдин Н.Е., Компаниец А.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 03.04.2020

Опубликована 29.06.2020

References

1. Belopukhov S.L., Storchevoy V.F. Ozon i yego primeneniye v APK: informatsionno-spravochnyye materialy: monografiya [Ozone and its use in agriculture: reference materials: monograph]. Irkutsk, ООО "Megaprint", 2018. (In Rus.)
2. Storchevoy V.F., Kompaniyets A.Ye. Primeneniye ozonatora-ionizatora na molochnykh fermakh [Use of an ozonizer-ionizer on dairy farms]. In: Doklady TSKHA. 2019: 294-296. (In Rus.)
3. Terekhov V.I., Normov D.A., Kurzin N.N., Storchevoy V.F., Abau M.M. Spособ sanatsii zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy v prisutstvii zhivotnykh: Patent RU2542504 C1 [Method of sanitizing livestock buildings in the presence of animals: Patent RU2542504 C1], 2015. (In Rus.)
4. Oskin S., Tsokur D., Voloshin S. Modeling the process of water bubbling with ozone to obtain the disinfectant solutions in beekeeping. Engineering for rural development. Jelgava, 22. 24.05.2019: 1210-1214. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N412. (In English)
5. Borodin I.F., Normov D.A. Elektroozonniye tekhnologii v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Electrozone technologies in agricultural production]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk, 2009; 1: 85-86. (In Rus.)
6. Storchevoy V.F., Suchugov S.V., Kompaniyets A.Ye. Sozdaniye ozonno-ionnoy vozdushnoy sredy v zakrytykh pomeshcheniyakh dlya soderzhaniya zhivotnykh i ptitsy [Creating an ozone-ionic air environment in enclosed spaces for animals and poultry]. Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University, 2019; 3 (91): 35-39. DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-35-39. (In Rus.)

Contribution

V.F. Storchevoy, N. Ye. Kabdin, A.E. Kompaniets carried out the experimental work, summarized the material based on the experimental results, and wrote the manuscript. V.F. Storchevoy, N. Ye. Kabdin, A.E. Kompaniets have equal author's rights and bearequal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on April 3, 2020

Published 29.06.2020