

На правах рукописи

СЕЛЕЗНЕВА ДАРЬЯ МИХАЙЛОВНА

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ
ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ПТИЦЫ**

Специальность: 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и
энергоснабжение агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в лаборатории автоматизированного электропривода и энергетического оборудования на возобновляемых источниках энергии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Научный руководитель: **Юферев Леонид Юрьевич**, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела возобновляемых и альтернативных источников энергии, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Официальные оппоненты: **Лекомцев Петр Леонидович**, доктор технических наук, профессор, декан факультета энергетики и электрификации Удмуртского ГАУ;
Шевченко Андрей Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры ФГБОУ ВО Кубанского ГАУ.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет».

Защита состоится 25.04.2023 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел/факс: 8 (499) 976-21-84.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Н.Н. Пуляев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одна из проблем современного сельского хозяйства – высокая плотность посадки животных и птиц на ограниченном пространстве, ведет к росту заболеваемости, нарушению гигиенических условий труда и негативному влиянию на оборудование. Концентрация пыли, микроорганизмов и вредодействующих газов в помещениях для содержания птицы зависит от ряда факторов и, как правило, значительно превышает предельно допустимые концентрации (ПДК).

Эффективность обеззараживания воздуха ультрафиолетовыми облучательными установками в помещениях для содержания птицы не превышает 73 % в связи с тем, что на содержание микроорганизмов в воздухе существенное влияние оказывает концентрация пылевых частиц. Из общего количества пыли в птичнике 10...40 % содержит на себе микроорганизмы. При этом высокая запыленность помещений приводит к уменьшению бактерицидного потока ламп до 33 %. Необходимо проводить регулярную очистку ламп от пыли, чтобы эффективность обеззараживания приборов находилась на первоначальном уровне.

Птичники являются наиболее запыленными сельскохозяйственными помещениями. Вентиляционные системы в помещениях для содержания птицы рассчитываются по содержанию углекислого газа, сероводорода и аммиака в помещении. При таком подходе в периоды раздачи кормов, кормления птицы, уборки помещений концентрация пыли увеличивается до 33 мг/м³, превышая ПДК до 6 раз. Высокая концентрация пыли снижает иммунитет птицы, ведет к росту заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем, что приводит к уменьшению прироста птицы и экономическим потерям. Современные средства обеспыливания воздуха на основе электрофльтрации воздуха позволяют достичь эффективности обеспыливания до 35 % в животноводческих помещениях, что недостаточно для поддержания параметров микроклимата в пыльных помещениях в допустимых концентрациях.

Таким образом, к решению проблемы обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещениях для содержания птицы необходимо подходить комплексно. Предлагается разработка новой комбинированной электроустановки на основе

комбинации электрофильтрации и ультрафиолетового облучения для эффективного обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещениях для содержания птицы.

Степень разработанности темы исследования. Разработке научной базы вопроса очистки воздуха различными электротехническими способами посвящены работы следующих авторов: Лебедь А.А., Славина Р.М., Самарина Г.Н., Возмилова А. Г., Кирпичникова И.В., Илимбетова Р.Ю., Андреева Л.Н. Звездаковой О.В., Жеребцова Б.В., Еськовой С.В., Ван Ч., Дель М.В., Лекомцева П.Л., Шевченко А.А., Прокопенко А.А., Акуловой Т.Н., Морозова В.Ю., Колесникова Р.О., Шестопалова Н.В., Алиева А.А., Довлатова И.М., Юферева Л.Ю., Алферовой Л.К., Микаевой С.А., Василяк Л.М., Першина А.Ф., Сторчевого В.Ф., Сысоева В.В., Кожурина В.М. и других.

Цель исследования – повышение эффективности обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещениях для содержания птицы за счет комбинации способов электрофильтрации и ультрафиолетового излучения в одной установке.

Объект исследования – параметры зон ионизации, осаждения и бактерицидного облучения комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещении для содержания птицы.

Предмет исследования – процесс обеспыливания и обеззараживания воздуха за счет комбинированной электроустановки.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Провести анализ способов и установок обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещениях для содержания птицы.

2. Теоретически смоделировать процесс обеспыливания воздуха в зонах ионизации и осаждения, позволяющий найти наибольшее расстояние, определяющее положение частицы пыли, оседающей на электродах, при входе в зону ионизации до коронирующего электрода.

3. Разработать методику расчета максимальной напряженности электрического поля и максимального потенциала в зоне ионизации, методику расчета времени работы комбинированной электроустановки при требуемом

показателе эффективности обеспыливания воздуха и определить необходимый бактерицидный поток УФ лампы.

4. Разработать комбинированную электроустановку для обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещениях для содержания птицы и провести лабораторные испытания данной электроустановки.

5. Оценить технико-экономическую эффективность применения комбинированной электроустановки.

Научная новизна:

1) Разработана математическая модель движения частиц пыли в зонах ионизации и осаждения комбинированной электроустановки, позволяющая найти наибольшее расстояние, определяющее положение частицы пыли, оседающей на электродах, при входе в зону ионизации до коронирующего электрода.

2) Разработана методика расчета максимальной напряженности электрического поля и максимального потенциала в зоне ионизации, позволяющая определить максимальное приложенное напряжение между электродами зоны ионизации с учетом геометрических параметров установки, не превышающее напряжение пробоя воздуха, а также определен необходимый бактерицидный поток УФ лампы.

3) Разработана методика расчета времени работы комбинированной электроустановки при требуемом показателе эффективности обеспыливания воздуха.

Практическая и теоретическая значимость:

Моделирование движения частиц в зонах ионизации и осаждения комбинированной электроустановки дает возможность оценивать траекторию движения заряженных частиц в подобных электроустановках и найти расстояние, определяющее положение частицы пыли, оседающей на электродах, при входе в зону ионизации до коронирующего электрода.

Разработанные методики расчета максимальной напряженности электрического поля и максимального потенциала в зоне ионизации, расчета времени работы и необходимого бактерицидного потока УФ лампы комбинированной электроустановки могут быть использованы для проектирования подобных установок.

Разработанная комбинированная электроустановка обеспечивает повышение эффективности обеззараживания за счет обеспыливания воздуха в зоне бактерицидной лампы и может быть использована в помещениях для содержания птицы.

Результаты испытаний разработанной комбинированной электроустановки могут быть использованы для дальнейшего совершенствования подобных установок.

Методология и методы исследований. Научные исследования проводились с использованием методов математического анализа и дифференциального исчисления, вычислительной математики, теории вероятностей, статистики, теоретической механики, электростатики, программирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная математическая модель движения частицы в зонах ионизации и осаждения позволяет определять наибольшее расстояние, определяющее положение частицы пыли, оседающей на электродах, при входе в зону ионизации до коронирующего электрода.

2. Предложенная методика расчета времени работы комбинированной электроустановки позволяет рассчитать время обеспыливания при требуемом показателе эффективности обеспыливания.

3. Применение комбинированной электроустановки с дополнительной озоноразрушающей зоной позволяет использовать ее в малообъемных помещениях, а также в промышленных птичниках, так как концентрация озона уменьшится по сравнению с подобной установкой без озоноразрушающей зоны.

4. Комбинированная электроустановка с увеличенной зоной осаждения позволяет увеличить эффективность обеспыливания по сравнению с подобной установкой с одной зоной осаждения и за счет этого повысить эффективность обеззараживания.

5. Комбинированная электроустановка для обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещениях для содержания птицы позволяет снизить падеж и увеличить прирост живой массы птицы по сравнению со стандартной методикой выращивания птицы и снизить трудозатраты на техническое обслуживание электроустановки по сравнению с аналогом.

Реализация результатов исследования:

Испытания комбинированной электроустановки проводились на базе учебно-производственного птичника ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Степень достоверности и апробация результатов работы подтверждены расчетами адекватности результатов проведенных экспериментальных испытаний с результатами, полученными в результате математического моделирования.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 6 международных конференциях.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 10 печатных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, получено одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Объем публикаций составляет 2,63 п.л., из них на долю соискателя приходится 2,10 п.л. На заимствованные материалы и работы, выполненные в соавторстве, сделаны ссылки.

Объём и структура диссертации. Диссертация изложена на 168 страницах, состоит из введения, основной части, содержащей 60 рисунков, 10 таблиц, заключения, списка литературы, включающего 103 наименования, в том числе 3 – на иностранном языке и 4 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность работы, сформулирована цель, задачи, научная новизна и практическая значимость исследования.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» проведен анализ, который позволил: выявить основные факторы, влияющие на эффективность обеспыливания и обеззараживания воздуха; классифицировать способы и установки для очистки воздуха; обосновать необходимость совместного использования нескольких способов воздействия в одной установке.

Вопрос влияния размеров и параметров пылевых частиц на эффективность очистки воздуха в помещениях для содержания птицы особо важен, так как происхождение и разновидности пылевых частиц в птичниках имеют разнообразных характер, а их размеры и параметры – широкий диапазон. Морфологический анализ состава пыли в птицеводческих помещениях показал, что пыль состоит из частиц

высохшего помета, подстилочного материала, кормов, частиц пуха, пера и перхоти. Из анализа литературы было установлено, что в птичнике более 90 % пылевых частиц размером менее 100 мкм из них более 80 % менее 50 мкм, а частицы менее 1 мкм являются носителями болезнетворных микроорганизмов.

Анализ способов применения обеспыливателей воздуха показал, что наиболее эффективным в этой области является способ электрофильтрации воздуха, а для обеззараживания – способ ультрафиолетового излучения воздуха. При этом, большинство установок для обеспыливания воздуха не предназначено для использования в птицеводческих помещениях или там не испытывались (таблица 1). Отдельные комбинированные установки с аэрозольным распылением повышают влажность в помещении до 90 %, что ограничивает их применение в помещениях для содержания птицы, т.к. влажность в таких помещениях должна находиться в пределах 60...70 %. Эффективные УФ установки для сохранения максимального бактерицидного потока требуют регулярной очистки ламп от пыли.

Таблица 1 – Сравнение установок для обеспыливания и обеззараживания воздуха в сельскохозяйственных помещениях

Установки для обеспыливания			
Эффективность обеспыливания или концентрация пылевых частиц		Условия проведения испытаний	Исполнение технического средства для обеспыливания (исследователи)
отн. ед.	мг/м ³		
0,78	-	непрерывно в помещении для персонала	Однозонный электростатический фильтр (Кирпичников И.В.)
0,7	-	6 ч. в испытательной лаборатории	Электростатический фильтр с замасленными пластинами (Илимбетов Р.Ю.)
0,35	(опыт – 22,9, контроль – 30,9)	непрерывно в помещении для содержания порослят-отъёмышей	Мокрый электрофильтр (Возмилов А.Г., Андреев Л.Н. с соавт.)
0,47-0,99	-	на входе, после 1 ступени, после 2 ступени электрофильтра в лабораторном помещении	Двухступенчатый мокрый электрофильтр (Андреев Л.Н.)
0,99	-	непрерывно в колбасной цехе	Двухзонный электрофильтр с наличием на входе и на выходе зоны зарядки металлических сеток (Звездакова О.В.)
0,6-0,94	-	непрерывно в лабораторном помещении	Электрофильтр с повышенной объемной скоростью (Еськова С.М.)
-	до 33	непрерывно в птичнике	Системы вентиляции (Саввинова М.С., Бессарабов Б.Ф., Возмилов А.Г.)
0,95	-	1 ч. в камерном боксе (влажность до 90 %)	Комбинированный рециркулятор для обеззараживания воздуха (Довлатов И.М.)

продолжение таблицы 1

Установки для обеззараживания			
Эффективность обеззараживания или количество концентрация микробных тел		Условия проведения испытаний	Исполнение технического средства для обеззараживания (исследователи)
отн. ед.	тыс. микр. т. /м ³		
-	до 551	непрерывно	Системы вентиляции (Майорова Т.Л.)
0,615	-	1,5 ч. в сутки	Облучение воздуха в птичнике открытого исполнения (Прокопенко А.А.)
0,607	-	по 3 ч. в сутки	Облучение воздуха УФ облучателем закрытого исполнения (Мелюков А.Н.)
0,73	-	три экспозиции 1, 2 и 3 ч.	Облучение воздуха открытыми бактерицидными лампами в отсутствие людей (Юферев Л.Ю.)
0,728	-	1 ч. в сутки	Облучатель–рециркулятор закрытого типа (Алферова Л.К.)
0,874	-	по 1 ч. в день с перерывами по 2 ч. в виварии	Комбинированный рециркулятор для обеззараживания воздуха (Довлатов И.М.)

При работе электрофильтра выделяется озон, который с одной стороны, обладает бактерицидным действием на микроорганизмы и вредные газовые составляющие воздуха (аммиак), с другой стороны, при превышении ПДК негативно влияет на человека, животных и птиц.

На основании проведенных обзоров был предложен метод обеспыливания и обеззараживания воздуха, объединяющий методы электрофльтрации и ультрафиолетового облучения воздуха в одной установке и позволяющий повысить эффективность обеззараживания за счет уменьшения запыленности в зоне бактерицидной лампы.

Во второй главе «Теоретические предпосылки к совершенствованию системы очистки воздуха» обоснованы основные положения, на которых базируется теория электроочистки воздуха, и возможные пути повышения эффективностей обеззараживания и обеспыливания воздуха.

На основе рассмотренных в 1 главе методов, средств и установок для очистки воздуха были принято решение о разработке комбинированной установки на основе электрофильтра, которая будет состоять из:

- 1) зоны ионизации (ионизатор) или электрической зарядки частиц пыли;
- 2) зоны осаждения (осадитель);
- 3) зоны бактерицидного облучения;

4) озоноразрушающей зоны.

Процесс очистки воздуха от пыли осуществляется путем зарядки и улавливания частиц пыли в двух зонах: ионизаторе и осадителе (рисунок 1). Воздушный поток, нагнетаемый осевым вентилятором, захватывает частицы пыли и направляет их в ионизатор. В ионизаторе частицы пыли приобретают заряд, двигаясь в электрическом поле между коронирующим и заземленным коллекторным электродами. При этом некоторые частицы пыли осаждаются на пластине коллекторного заземленного электрода. Частицы пыли, заряженные в ионизаторе, потоком воздуха направляются в зону осаждения, двигаясь в секциях между пластиной электрода под напряжением и параллельной пластиной коллекторного заземленного электрода.

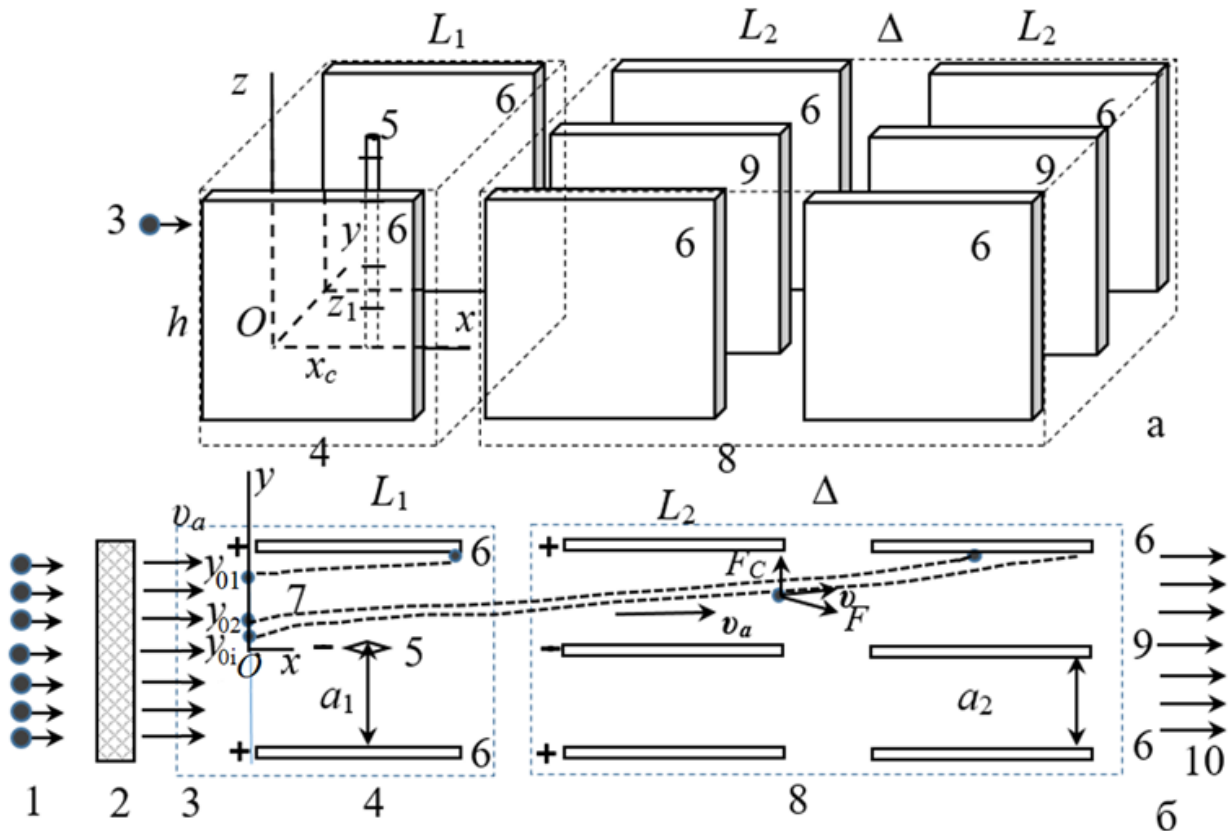


Рисунок 1 – Электростатический фильтр (а) и движение частиц пыли (б)

- 1, 3 – входной воздушный поток с пылью; 2 – предварительный фильтр для улавливания крупноразмерной пыли; 4 – зона ионизации; 5 – коронирующий игольчатый электрод; 6 – пластина коллекторного заземленного электрода; 7 – траектории частицы пыли; 8 – зоны осаждения; 9 – пластина электрода под напряжением; 10 – выходной воздушный поток

Улавливание частиц пыли происходит, если при ее движении между электродами траектория частицы пересекает пластину коллекторного электрода в зоне ионизации или осаждения.

Принимаем, что расстояние, определяющее положение частицы пыли, осевшей на электроды, от коронирующего электрода при входе в зону ионизации будет соответствовать начальной координате уловленной частицы и обозначаться y_0 .

Модель движения частиц пыли в комбинированной установке можно представить системой уравнения, полученной на основе дифференциальных уравнений движения частицы под действием сил Кулона и Стокса в плоскости Oxy с учетом размера частиц не более 1 мкм (поправкой Каннингема):

$$\begin{cases} \rho \frac{\pi D^3}{6} \frac{d^2x}{dt^2} = qE_{ix} + \frac{3\mu\pi D}{C_c} \left(v_{ax} - \frac{dx}{dt} \right) \\ \rho \frac{\pi D^3}{6} \frac{d^2y}{dt^2} = qE_{iy} + \frac{3\mu\pi D}{C_c} \left(v_{ay} - \frac{dy}{dt} \right). \end{cases} \quad (1)$$

где ρ – плотность частицы пыли, $\rho = 1000$ кг/м³; D – диаметр сферической частицы пыли, м; q – заряд частицы пыли, Кл; E_{ix} , E_{iy} – соответственно координаты по осям Ox , Oy вектора напряженности электрического поля, В/м; μ – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па с; v_{ax} , v_{ay} – соответственно координаты по осям Ox , Oy скорости частицы воздушного потока, м/с; C_c – коэффициент Милликена.

Можно доказать, что все частицы данного размера, входящие в зону ионизации с начальной координатой, превышающей y_0 , будут улавливаться коллекторной пластиной. Траектории частиц определялись из системы обыкновенных дифференциальных уравнений (1), решения которых получены численным методом Рунге-Кутты. Минимальную начальную координату y_0 будем оценивать визуально методом перебора траекторий, определяя ту, которая пересекает дальний край коллекторного электрода. На рисунке 2 показаны траектории частиц, позволяющие оценить минимальную начальную координату y_0 .

Результаты расчетов эффективности обеспыливания по данным траекторий движения частиц, представленных в **третьей главе** «Обоснование параметров зон ионизации, осаждения, бактерицидного облучения системы очистки воздуха» показали, что более 40 % частиц диаметром от 0,1 до 1,0 мкм не улавливаются при однократном проходе воздуха через электроустановку со скоростью 0,7 м/с и выше и длине коллекторных пластин в зоне осаждения 15 мм (таблица 2).

Добавление второй зоны осаждения повышает эффективность обеспыливания частиц диаметром от 0,1 до 1,0 мкм в среднем на 13,51 % (таблица 2).

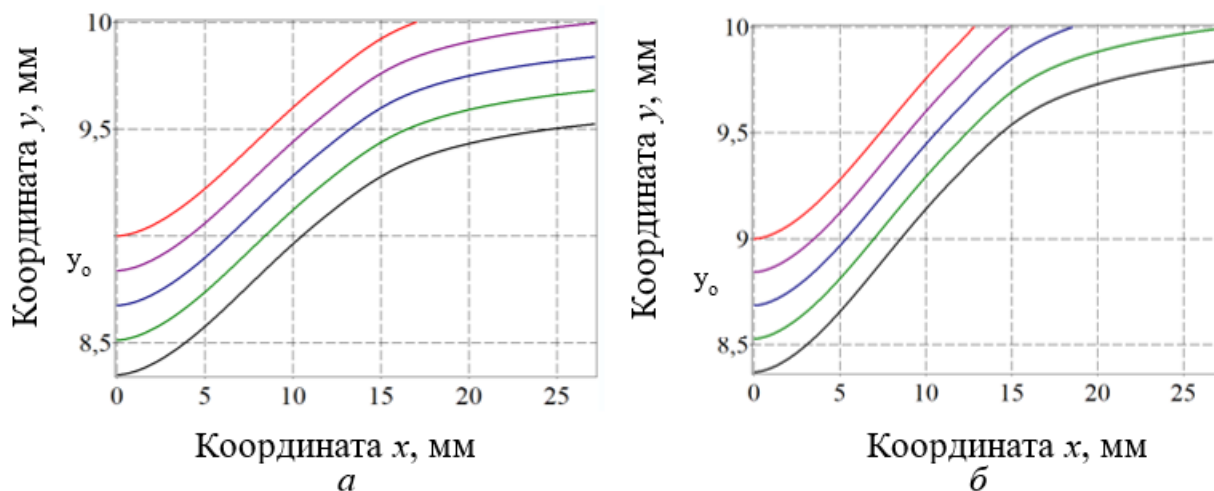


Рисунок 2 – Траектории частицы диаметром 0,5 мкм с начальными координатами от 8,35 до 9,00 мм (а), диаметром 0,8 мкм с начальными координатами от 8,37 до 9,00 мм (б) в зоне ионизации длиной 12 мм и в одной зоне осаждения длиной 15 мм при скорости воздуха 1 м/с

Таблица 2 – Расчетные значения показателя P_D эффективности обеспыливания по данным траекторий движения частицы

Число зон осаждения n_L	Скорость воздуха v_{ax} , м/с	Диаметр частицы D , мкм	Минимальная начальная координата y_{0D} , мм	Эффективность обеспыливания воздуха P_D , отн.ед.	Эффективность обеспыливания воздуха P_{DT} при $T=3$ ч (помещение 1)	Эффективность обеспыливания воздуха P_{DT} при $T=3$ ч (помещение 2)
1	0,7	0,1	8,48	0,152	0,916	0,69
		0,3	8,48	0,152	0,916	0,69
		0,5	8,10	0,19	0,958	0,78
		0,8	7,78	0,222	0,977	0,83
		1,0	6,7	0,33	0,998	0,94
	1,0	0,1	9,00	0,1	0,794	0,53
		0,3	9,00	0,1	0,794	0,53
		0,5	8,80	0,12	0,853	0,60
		0,8	8,55	0,145	0,905	0,67
		1,0	8,37	0,163	0,930	0,72
2	0,7	0,1	7,1	0,29	0,994	0,91
		0,3	7,1	0,29	0,994	0,91
		0,5	6,40	0,36	0,999	0,96
		0,8	5,20	0,48	0,999	0,99
		1,0	4,10	0,59	0,999	0,99
	1,0	0,1	8,2	0,18	0,949	0,76
		0,3	8,2	0,18	0,949	0,76
		0,5	7,8	0,22	0,976	0,83
		0,8	7,15	0,285	0,993	0,91
		1,0	6,7	0,33	0,998	0,94

Повышение скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором, с 0,7 до 1 м/с приводит к снижению показателя P_D эффективности обеспыливания воздуха при однократном проходе с двумя зонами осаждения в среднем на 20 % (таблица 2).

Для обеспечения эффективности обеспыливания свыше 90 % и скорости воздуха 0,7 м/с в помещении 20 м³ необходимо применять установку с производительностью вентилятора 100 м³/ч и входным сечением 0,17×0,17 м. (таблица 2, помещение 1). В помещении объемом 1260 м³ необходимо применить 15 установок с производительностью вентиляторов до 200 м³/ч и увеличенным входным сечением 0,31×0,31 м (таблица 2, помещение 2).

Из таблицы 2 также видно, что с увеличением размера частиц растет эффективность улавливания электрофильтра. В дальнейшем будем рассматривать размеры частиц 0,8 мкм и меньше, так как именно такие частицы являются особо опасными для организма птиц.

Также было установлено, что эффективность обеспыливания растет с увеличением относительной диэлектрической проницаемости пыли. Относительная диэлектрическая проницаемость пыли в птичниках находится в пределах от 2,5 до 10, при этом эффективность обеспыливания меняется от 42 до 71 % соответственно.

Напряженность электрического поля и заряд частицы пыли служат определяющими факторами, влияющими на характеристики движения частицы в зоне ионизации.

Методика расчета параметров комбинированной электроустановки сводится к определению максимальной напряженности электрического поля в зоне ионизации через потенциал коронирующего электрода и геометрические параметры электроустановки. Расчет максимальной напряженности (E_K) определяем с учетом электрического поля, индуцированного заземленной коллекторной пластиной:

$$E_K = U_K \left\{ \frac{(h^2 + R^2)^{\frac{1}{2}} - R}{R} + \frac{[h^2 + (2a_1 - R)^2]^{\frac{1}{2}} - 2a_1 + R}{2a_1 - R} \right\} / \left(h \ln \frac{2a_1 - R}{R} \right) \quad (2)$$

где U_K – максимальный потенциал в зоне ионизации, В; R – радиус цилиндрического провода коронирующего электрода, м; a_1 – расстояние между

коронирующим и коллекторным электродами в зоне ионизации, м; h – высота коронирующего электрода и пластин коллекторных электродов, м.

Максимальный потенциал в зоне ионизации определяется зарядом коронирующего электрода и геометрическими параметрами установки:

$$U_K = \frac{q_k}{2\pi\epsilon_0 h} \ln \frac{2a_1 - R}{R}, \quad (3)$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная, единица емкости, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/(Н·м²).

При расчетах необходимо учитывать, что максимальная напряженность не должна превышать напряженность пробоя ($E_{\text{пр.возд}}=3000$ кВ/м). Для межэлектродного расстояния 10 мм необходимо поддерживать максимальную напряжённость 2900 кВ/м. Потенциал коронирующего электрода от 10 до 12 кВ обеспечивает эффективность обеспыливания от 28 до 99 % и высокую максимальную напряженность, не превышающую напряженности пробоя при радиусе провода 1,5...2 мм (рисунок 3).

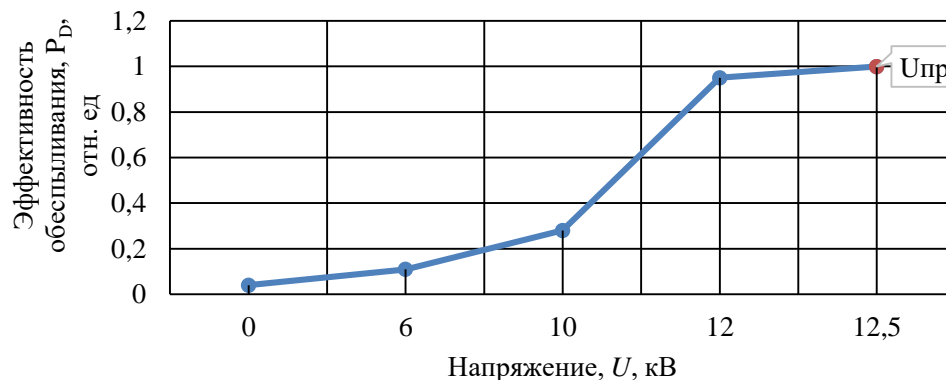


Рисунок 3 – Зависимость эффективности обеспыливания от напряжения

Показатель P_D эффективности обеспыливания воздуха можно определить по формуле, полученной на основе известной формулы эффективности и учетом наибольшего расстояния, определяющего положение частицы пыли, оседающей на электродах при входе в зону ионизации до коронирующего электрода:

$$P_D = \frac{a_1 - y_{0D}}{a_1}, \quad (4)$$

где y_{0D} – минимальная начальная координата частицы диаметром D по оси Oy , траектория которой пересекает пластину коллекторного электрода секции зоны ионизации или в одной из секций зоны осаждения.

Данное выражение (4) справедливо в том случае, когда воздух проходит через электроустановку однократно.

Время работы установки можно представить с учетом эффективностей обеспыливания:

$$T = T_1 \frac{\ln(1-P_{DT})}{\ln(1-P_D)}, \quad (5)$$

где T , T_1 – время работы установки и время, за которое через установку проходит воздух в помещении некоторого объема, ч; P_D – эффективность обеспыливания воздуха при однократном проходе через электрофильтр; P_{DT} – эффективность обеспыливания воздуха при многократном проходе через электрофильтр, отн. ед.

Формула (5) определяет время работы электроустановки, обеспечивающей требуемый показатель P_{DT} эффективности обеспыливания воздуха в помещении, если известен показатель эффективности P_D при однократном прогоне воздуха вентилятором за время T_1 . Установлено, что с увеличением показателя эффективности время обеспыливания увеличиваются нелинейно (рисунок 4).

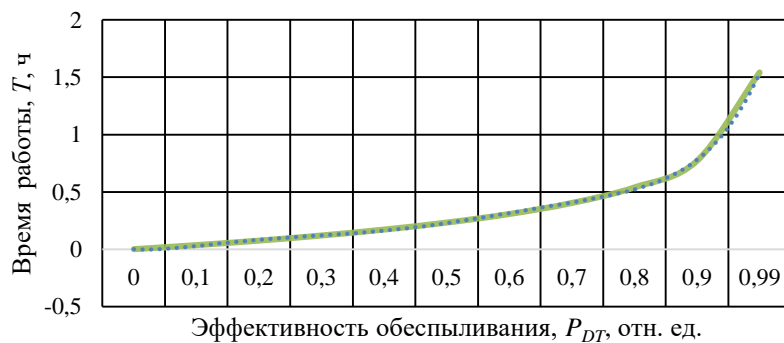


Рисунок 4 – Зависимости T от показателя P_{DT} при $P_D=0,45$, $T_1=0,25$ ч

Используя формулу (5) эффективность обеспыливания воздуха (P_{DT}) за n проходов можно найти:

$$P_{DT} = 1 - (1 - P_D)^{\frac{T \cdot Q_b}{V}}, \quad (6)$$

где V – объем воздуха в закрытом помещении, м^3 ; T – время работы вентилятора электроустановки, с; Q_b – производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$.

Принимаем, что время работы установки 3 раза в сутки по 1 часу во время кормления птицы (6-7 ч, 12-13 ч, 18-19 ч), объем помещения 20 м^3 , то

эффективность обеспыливания частиц диаметром от 0,3 мкм до 0,8 мкм составит в среднем 86 %.

Для использования комбинированной электроустановки в промышленных птичниках необходимо увеличить производительность вентилятора до 200 м³/ч. При этом, чтобы эффективность обеспыливания находилась выше 86 % и скорость воздушного потока не превышала 0,7 м/с, необходимо увеличить входное сечение установки до 0,31x0,31 м и количество электродов соответственно.

Следующим шагом к повышению эффективности обеззараживания воздуха, была проанализирована бактерицидная эффективность.

Результаты известных исследований по изучению зависимости бактерицидного потока от запыленности воздуха помещений показывают, что если снизить концентрацию пылевых частиц в помещении в 10 раз, то бактерицидная эффективность УФ-облучателей возрастет до 33 %.

Этот факт подтверждает формула бактерицидного потока лампы, $\Phi_{\text{бк}}$, Вт, выведенная из известного уравнения бактерицидной эффективности:

$$\Phi_{\text{бк}} = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{н}}} * \frac{V * K}{15,6 * \zeta * e^{-\sigma * x}}, \quad (7)$$

где $N_{\text{п}}$, $N_{\text{н}}$ – фактическое и предельно-допустимое число микроорганизмов; V – объем воздуха в закрытом помещении, м³; K – коэффициент сопротивляемости микроорганизмов бактерицидным лучам, Вт_{бк}*с/м³; ζ – коэффициент обеззараживания, с; σ – коэффициент пропускания излучения средой (в птичниках примерно 0,3 м⁻¹, в сухих помещениях примерно 0,06 м⁻¹); x – расстояние от лампы до поверхности облучателя, м.

Принимаем, что коэффициент пропускания излучения средой в комбинированной электроустановке снизится с 0,3 до 0,06 вследствие улучшения состояния воздушной среды. Предварительный расчет бактерицидного потока лампы при эффективности обеззараживания 0,7, объеме помещения 20 м³, времени работы 60 мин, расстоянии от облучателя до поверхности 0,08 м, коэффициента пропускания излучения средой 0,06 с⁻¹ составит 4 Вт.

Расчетное значение бактерицидного потока для производственного птичника вследствие увеличения объема помещения и расстояния от облучателя до поверхности составляет 11 Вт, что соответствует лампе мощностью 36 Вт.

Четвертая глава «Разработка основных элементов системы обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещениях для содержания птицы» посвящена разработке комбинированной электроустановки.

Предложенная и разработанная система обеспыливания и обеззараживания воздуха на основании исследований и расчетов в первых трех главах представлена на рисунке 5.

Высокое напряжение 11 кВ на установку подавалось от источника высокого напряжения по схеме генератора высоковольтных импульсов. Коронирующая система зоны зарядки электрофильтра – игольчатые электроды между металлическими пластинами с диаметром игл 1,5 мм.

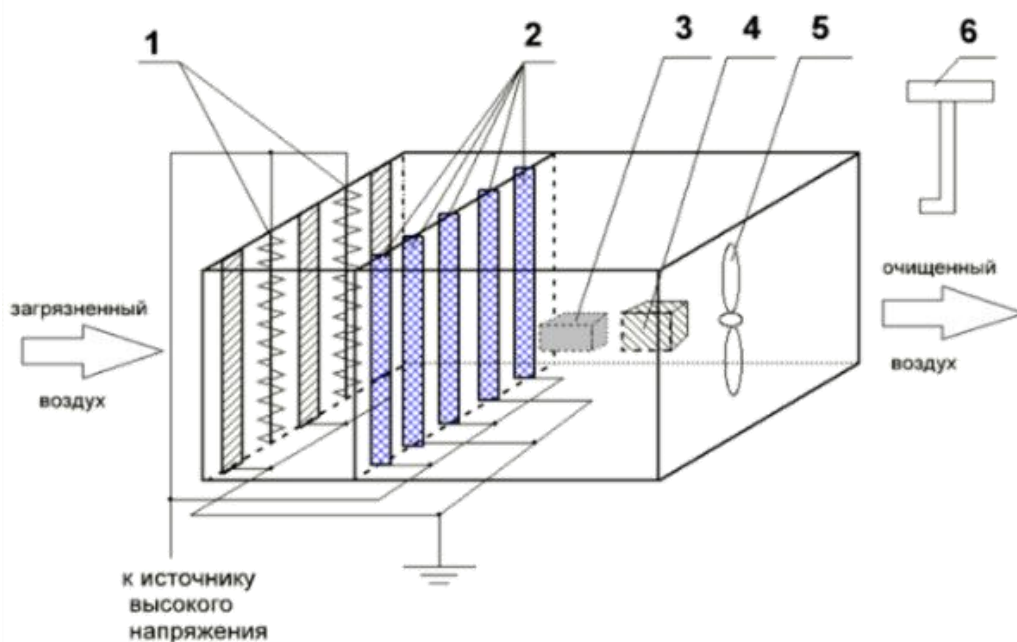


Рисунок 5 – Схема экспериментального стенда

1 – коронирующие электроды; 2 – осадительные заземленные электроды;
3 – бактерицидная лампа; 4 – озоноразрушающая лампа; 5 – вентилятор; 6 – датчик пыли

Некоронирующие электроды зоны зарядки – металлические пластины толщиной 0,8 мм, изолированные от корпуса диэлектриком. Зона осаждения – 1 или 2 рамы с металлическими пластинами.

Технические характеристики предлагаемых установок сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики предлагаемых установок

Тип установки	Габариты	U_k	$\Phi_{\text{бк}}$	$Q_{\text{вент}}$	Тип лампы	P
Ед. изм.	м	кВ	Вт	м ³ /ч	-	Вт
Лабораторная	0,17x0,17x0,6	11	4	100	ДРТ-125	150
Производственная	0,31x0,31x1,2	11	11	200	ДРТ-125	205

В пятой главе «Испытания и технико-экономическая оценка применения комбинированной электроустановки» представлены испытания разработанной комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха (рисунок 6).

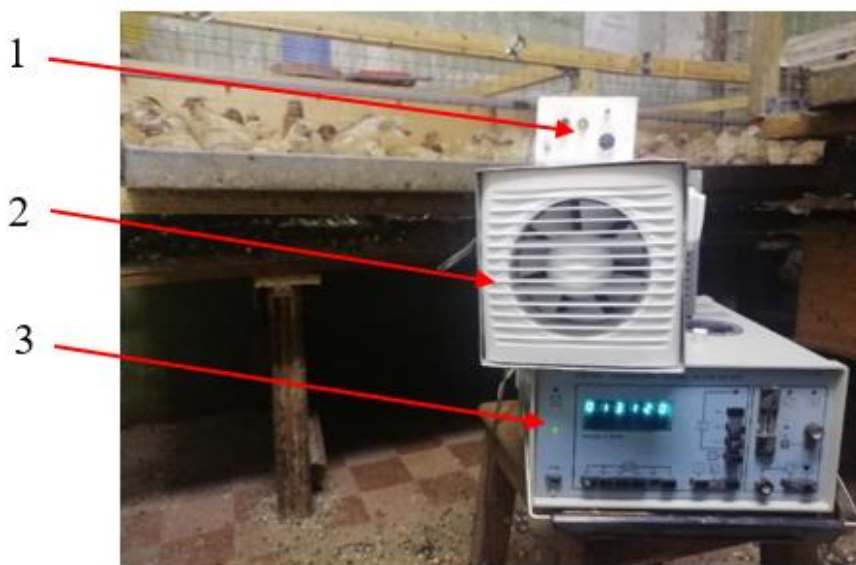


Рисунок 6 – Проведение испытаний комбинированной электроустановки

- 1 – источник высокого напряжения;
 2 – комбинированная электроустановка;
 3 – счетчик аэрозольных частиц ПК.ГТА-0,3-002

Лабораторные исследования показали, что электроустановка с двумя зонами осаждения имеет эффективность обеспыливания пылевых частиц диаметром от 0,3 мкм до 0,8 мкм выше в среднем на 24 % по сравнению с подобной установкой с одной зоной осаждения.

Результаты испытаний по концентрации озона показали, что в электроустановке с включенной озоноразрушающей лампой концентрация озона уменьшилась на 31 % по сравнению с электроустановкой без озоноразрушающей лампы. Производственные испытания установки были направлены на исследование режима работы установки. Установка находилась в центре помещения с птенцами перепелов на высоте 1 м от пола. Из исследований концентрации пыли в опытном и контрольном боксах следует, что вне зависимости от размеров пылевых частиц в

боксе с электроустановкой для обеспыливания и обеззараживания воздуха концентрация пыли снижается (рисунок 7).

При этом принято решение об установление цикла очистки осадительных электродов от пыли через каждые 28 дней.

Погрешность теоретического расчета эффективности обеспыливания и экспериментальных исследований составила 18,2 % (рисунок 8).

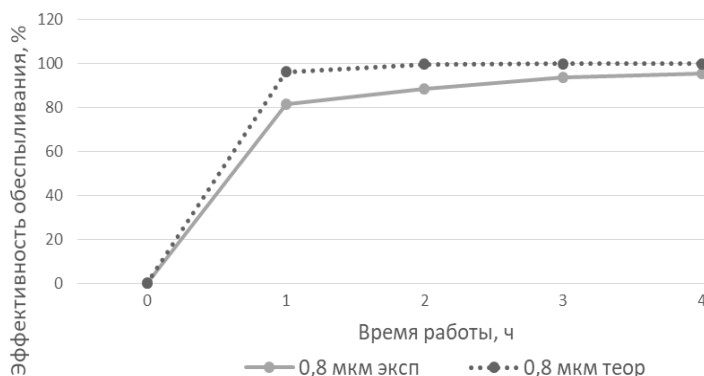


Рисунок 7 – Зависимость концентрации пыли размеров от 0,3 до 1 мкм от продолжительности работы комбинированной электроустановки

Рисунок 8 – Теоретические и экспериментальные данные эффективности обеспыливания от продолжительности работы комбинированной электроустановки

Результаты микробиологического и химического анализа воздуха показали, что в опытном боксе на 3 день работы электроустановки бактерицидная обсеменённость уменьшилась до 78 % от ПДК и концентрация аммиака снизилась на 45 % по сравнению с контрольным боксом (рисунок 9).

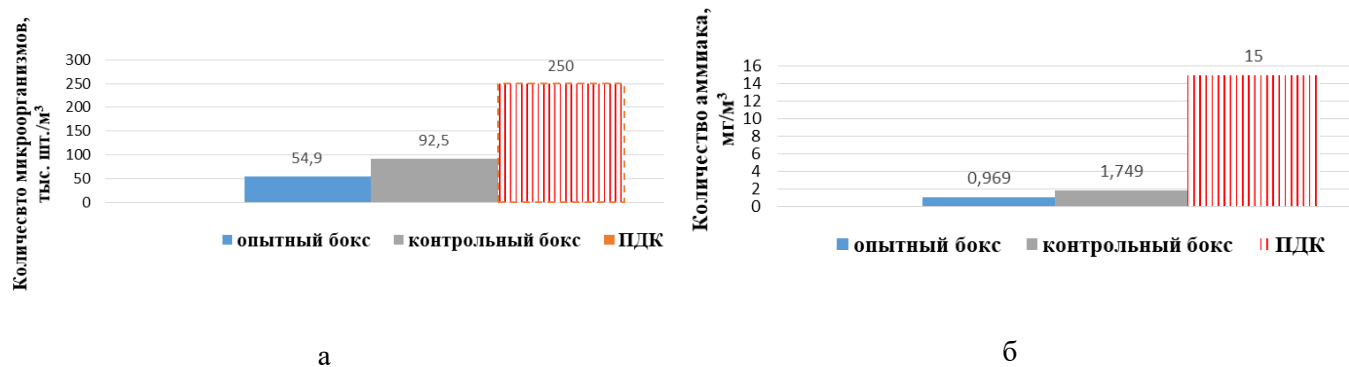


Рисунок 9 – Количество микроорганизмов (а) и аммиака (б) в опытном и контрольном боксах

Технико-экономическая оценка сравнения комбинированной электроустановки с ближайшим аналогом облучателем-озонатором ОЗУФ и приточно-вытяжной системой вентиляции приведена в таблице 4. Оценка рассчитывалась по методике применения ОЗУФ, который в настоящее время серийно не выпускается, с учетом того, что в разрабатываемой установке применена аналогичная бактерицидная лампа и одинаковая скорость воздушного потока. В связи с этим проценты привеса и падежа птицы в расчете экономической оценки были использованы по результатам испытаний ОЗУФ в промышленном птичнике и утвержденных методических указаний по применению установки (таблица 4).

Таблица 4 – Экономическая эффективность применения комбинированной электроустановки

№ п/п	Показатели	Базовый вариант №1 (приточно-вытяжная система вентиляции)	Базовый вариант №2 (ОЗУФ)	Проектный вариант (приточно-вытяжная система вентиляции с частичной рекуперацией воздуха при помощи комбинированной электроустановки)
1.	Капиталовложения, руб.	-	223020	221550
2.	Эксплуатационные расходы, руб./год	-	60725,6	60324
3.	Зарплата персонала за год, руб.	-	274158	40380
4.	Потребление электроэнергии, руб./год	-	14288,4	16272
5.	Количество цыплят бройлеров, гол.	9000	9000	9000
6.	Процент привеса, %	-	3,89	3,89
7.	Процент падежа, %	2,99	1,58	1,58
8.	Количество произведенной продукции в год (6 технологических циклов), кг	115248	121440	121440
9.	Общий годовой привес продукции, кг	-	6192	6192
10.	Цена реализации, руб.	120	120	120
11.	Выручка от дополнительного привеса, уменьшения падежа, руб./год	-	743040	743040
12.	Годовой экономический эффект, руб.	-	393868	626064
13.	Годовой экономический эффект на 1 установку, руб.	-	14587,7	41737,6
14.	Скор окупаемости, год	-	0,57	0,36

На основе известной методики расчета количества световых приборов в помещении определяем, что в птичнике 1260 м³ площадью 450 м² и производительностью вентилятора 200 м³/ч необходимо установить 15

комбинированных установок с входным сечением 0,31x0,31 м на высоте 2 м от пола в 3 ряда с шагом между рядами в 1,5 м и шагом 9 м между установок в ряду.

Годовой экономический эффект от внедрения 15 комбинированных электроустановок в птичнике на 9000 голов бройлеров составит 626 тыс. руб. по сравнению со стандартной методикой выращивания птицы за счет увеличения привеса и уменьшения падежа птицы, расчетный срок окупаемости установок – 0,36 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ методов и средств обеспыливания и обеззараживания воздуха птицеводческих помещений показал, что эффективность обеспыливания воздуха сельскохозяйственных помещений находится в пределах от 35 % до 99 %, при этом в птичниках этот показатель ниже, а в периоды кормления концентрация пыли превышает ПДК, при этом максимальная достигнутая эффективность обеззараживания – менее 73 %. Анализ литературы показал, что исследования электрофильтров не проводились в помещениях для содержания птицы, а бактерицидные установки при высокой запыленности теряют бактерицидный поток до 33 %. Предложен метод обеспыливания и обеззараживания воздуха, объединяющий электрофильтр с увеличенной зоной осаждения, бактерицидной и озоноразрушающей зонами в одной установке. Это позволит устранить известные недостатки каждого метода и повысить эффективность очистки воздуха.

2. Разработанная теоретическая модель процесса обеспыливания воздуха по сферическим частицам заданного диаметра (формула 1) позволяет найти наибольшее расстояние, определяющее положение частицы пыли, оседающей на электродах, при входе в зону ионизации до коронирующего электрода. Этот параметр используется для нахождения эффективности обеспыливания частиц пыли различного диаметра. Погрешность методики расчета эффективности обеспыливания сравнивалась с экспериментом и составила 18,2 %.

3. Разработана методика расчета максимальной напряженности электрического поля и максимального потенциала в зоне ионизации, которая показала, что для межэлектродного расстояния 10 мм необходимо поддерживать

максимальную напряжённость 2900 кВ/м и потенциал коронирующего электрода 11 кВ.

Разработана методика расчета времени работы при требуемом показателе эффективности обеспыливания воздуха, которая показала, что режим работы 3 раза в сутки по 1 часу (6-7 ч, 12-13 ч, 18-19 ч) достаточен для поддержания показателя эффективности обеспыливания свыше 85 % в помещении для содержания птицы.

Бактерицидный поток лампы при эффективности обеззараживания 70 % составит 4 Вт, учитывая, что уменьшение запыленности воздуха приводит к повышению эффективности обеззараживания.

4. Разработана комбинированная электроустановка для обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещении для содержания птицы и проведены лабораторные испытания данной установки с увеличенной зоной осаждения и озоноразрушающей зоной, которые показали увеличение эффективности обеспыливания частиц различного диаметра в среднем на 24 % по сравнению с установкой с одной зоной осаждения и уменьшение концентрации озона на 31 % по сравнению с установкой без озоноразрушающей зоны. Испытания в боксах с птенцами перепелов показали, что применение электроустановки привело к снижению бактерицидной обсеменённости воздуха на 78 % от ПДК и концентрации аммиака на 45 % по сравнению с опытным боксом.

5. Выручка от дополнительного привеса, уменьшения падежа птицы в помещении на 9000 голов бройлеров составляет 626 тыс. руб., срок окупаемости от внедрения комбинированной электроустановки – 0,36 года. Годовая выручка от внедрения комбинированных электроустановок в птичник по сравнению с аналогом составит 293 тыс. рублей.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейших исследованиях рекомендуется рассмотреть возможность очистки электродов электроустановки с помощью магнитно-импульсной технологии, исследовать возможность внедрения разработанной установки в помещениях для содержания животных, а также рассмотреть вопрос сокращения затрат на отопительно-вентиляционную систему птичника.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

– в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Юферев, Л.Ю. Совершенствование процессов обеззараживания и обеспыливания воздушной среды сельскохозяйственных помещений на основе электрофльтрации воздуха / Л.Ю. Юферев, Д.М. Селезнева // Международный технико-экономический журнал. – 2019. – №5. – С. 42-48

2. Юферев, Л.Ю. Обеззараживание и обеспыливание воздуха в помещениях на основе электрофльтра / Л.Ю. Юферев, Д.М. Селезнева, Е.А. Овсянникова // Сельский механизатор. – 2020. – № 4. – С. 20-21.

3. Юферев, Л.Ю. Испытания комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха в птичнике / Л.Ю. Юферев, Д.М. Селезнева / Агроинженерия – 2022 – Т. 24. – № 3. – С. 45-50

- свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

4. Расчет электрофльтра : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022666206 / М.И. Белов, В.Ф. Сторчевой, Н.Е. Кабдин, Л.Ю. Юферев, Д.М. Селезнева; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – № 2022664865 ; заявл. 09.08.2022 ; опубли. 26.08.2022.

– в прочих изданиях по теме диссертационной работы:

5. Селезнева, Д.М. Аналитический обзор установок для обеззараживания и обеспыливания сельскохозяйственных помещений / Д.М. Селезнева // Доклады ТСХА: Сборник статей. – Вып. 291. – Ч. II. – 2019. – С. 303-306

6. Селезнева, Д.М. Анализ конструкций электрофльтров для сельскохозяйственных помещений / Д.М. Селезнева // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 292. – С. 132.

7. Селезнева, Д.М. Исследования эффективности обеспыливания воздуха комбинированным электрофльтром / Д.М. Селезнева // В сборнике: Наука. Технологии. Инновации. – 2020. – Ч.5. – С. 61-64.

8. Селезнева, Д. М. Экспериментальное исследование многозонного электрофльтра для очистки воздушной среды сельскохозяйственных помещений / Д.М. Селезнева // В сборнике: ДОКЛАДЫ ТСХА. – 2021. – С. 85-87.

9. Селезнева, Д.М. Проведение испытаний многозонного электрофльтра для обеспыливания воздуха сельскохозяйственных помещений / Д.М. Селезнева // Агротехника и энергообеспечение. – 2021. – № 2 (31). – С. 12-17.

10. Селезнева, Д.М. Экспериментальное исследование комбинированной электроустановки для очистки воздушной среды сельскохозяйственных помещений / Д.М. Селезнева // В сборнике: Всероссийская с международным участием научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова. Материалы Всероссийской с международным участием научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова. – 2021. – С. 219-222.