

На правах рукописи

ДМИТРИЕВ Алексей Анатольевич



**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ
РЕЦИРКУЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ
ПОМЕЩЕНИЙ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тюмень – 2015

Работа выполнена на кафедре «Энергообеспечение сельского хозяйства»
ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья».

Научный руководитель: **Андреев Леонид Николаевич**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Самарин Геннадий Николаевич**
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия» (г. Великие Луки), заведующий кафедрой «Механизация животноводства и применение электроэнергии в сельском хозяйстве»

Широбокова Татьяна Александровна

кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия» (г. Ижевск), доцент кафедры «Электротехника, электрооборудование и электроснабжение»

Ведущее предприятие: ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Защита состоится «**01**» **декабря 2015 г. в 10 часов** на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 на базе ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46, тел./факс (3852) 367128; <https://altstu.ru>, e-mail: elnis@inbox.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» и на сайте http://www.altstu.ru/media/f/DISSERTACIYa-_Dmitriev.pdf.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г. и размещен на официальном сайте ВАК Минобрнауки России <http://vak.eg.gov.ru>.

Ученый секретарь диссертационного совета
д.т.н., профессор



Куликова Лилия
Васильевна

Примечание: отзывы на автореферат, заверенные гербовой печатью организации, просим присылать в 2-х экз. на адрес университета и e-mail: alextmn86@mail.ru.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Рынок мяса и мясопродуктов является самым крупным сегментом отечественного продовольственного рынка, который, при серьезной государственной поддержке, динамично развивается. В рамках форсированного развития отрасли принципиально важными направлениями становятся техническое переоснащение, освоение инновационных наукоемких технологий производства.

Интенсификация ведения животноводства на промышленной основе характеризуется увеличением количества поголовья на фермах, размеров животноводческих построек и плотности содержания животных. При этом экономическая эффективность отрасли во многом зависит от условий содержания животных, которые большей частью определяются параметрами микроклимата в помещении. При увеличении концентрации животных, недостаточной кратности воздухообмена в воздушной среде помещений растет количество пылевых и аэрозольных частиц, содержащихся на них бактерий, повышается концентрация вредных газов (аммиак, сероводород, кишечные газы, углекислый газ и др.), что в комплексе негативно влияет на здоровье животных и не позволяет им проявить свои потенциальные производительные способности.

Для решения этой проблемы возможно использование приточно-вытяжной вентиляционной системы (ПВВС), работающей в режиме внутренней рециркуляции с непрерывной комплексной очисткой воздуха, либо увеличение кратности воздухообмена в помещении.

Учитывая, что увеличение кратности воздухообмена связано с повышением энергопотребления на цели отопления и вентиляции, наиболее перспективными являются ПВВС с очисткой рециркуляционного воздуха.

Одной из новейших разработок в этом направлении является мокрый однозонный электрофильтр, производственные испытания которого показали высокую эффективность очистки рециркуляционного воздуха от пылевых и аэрозольных частиц (до 95,4 %), микроорганизмов (до 77 %), аммиака (до 83,8 %) и сероводорода (до 50,0 %). Эти результаты были получены при относительно низкой скорости воздушного потока, проходящего через электрофильтр, находящейся в диапазоне 0,5...2,5 м/с, что не позволяет существенно сократить потребление свежего приточного воздуха, а следственно, снизить затраты энергоресурсов на отопление и вентиляцию животноводческих помещений.

Существенное повышение технико-экономических показателей ПВВС (обеспечение высокого уровня производительности при приемлемом уровне энергозатрат и требуемой степени очистки рециркуляционного воздуха) возможно при использовании двухступенчатого мокрого электрофильтра (ДМЭФ).

Целью работы является повышение эффективности комплексной очистки рециркуляционного воздуха животноводческих помещений за счет использования двухступенчатого мокрого электрофилтра при одновременном снижении энергопотребления приточно-вытяжной вентиляционной системы.

Исходя из поставленной цели, сформулированы следующие **задачи исследования**:

- получить аналитические выражения для расчета эффективности двухступенчатого мокрого электрофилтра при очистке рециркуляционного воздуха животноводческих помещений в зависимости от его конструктивных и технологических параметров;
- разработать конструкцию и рассчитать основные параметры опытного образца ДМЭФ с учетом обоснования длины воздуховода между ступенями очистки по критерию дополнительного улавливания пылевых и аэрозольных частиц;
- выполнить лабораторные исследования опытного образца ДМЭФ и провести комплексные испытания в производственных условиях;
- оценить экономическую эффективность использования систем комплексной очистки рециркуляционного воздуха на основе ДМЭФ.

Научную новизну представляют:

- концепция использования двухступенчатого мокрого электрофилтра в системах приточно-вытяжной вентиляции животноводческих помещений;
- аналитические зависимости степени очистки воздуха от пылевых и аэрозольных частиц, микроорганизмов и вредных газов от конструктивных и технологических параметров ДМЭФ;
- оценка эффективности дополнительного улавливания пылевых и аэрозольных частиц при изменении длины воздуховода между ступенями очистки.

Теоретическая и практическая значимость. Настоящая работа дополняет базы теоретических и экспериментальных исследований в области электроочистки рециркуляционного воздуха животноводческих помещений. Полученные результаты могут быть использованы научно-исследовательскими, проектными и другими уполномоченными организациями при разработке оборудования и комплексных проектных решений для предприятий АПК. Материалы диссертации можно рекомендовать для подготовки учебно-методических пособий и использовать при разработке специальных курсов для студентов сельскохозяйственных вузов.

Работа выполнена в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717 "О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы".

Методология и методы исследования. Работа основана на результатах исследований, проведенных Басовым А.М., Изаковым Ф.Я., Файном В.Б., Возмиловым А.Г., Кирпичниковой

И.М., Ивановой С.А., Звездаковой О.В., Делем М.В., Таймановым С.Т., Самариным Г.Н., Смирнягиным Е.В., Андреевым Л.Н., Жеребцовым Б.В. и другими специалистами в области электроочистки и обеззараживания воздуха, повышения энергоэффективности систем отопления и вентиляции животноводческих помещений. Исследования проводились с использованием известных положений теоретических основ электротехники, физики электрического разряда в газах, теплотехники, зоотехники, теории планирования эксперимента и технико-экономического анализа.

Обработка результатов производилась с помощью MS Excel 2013.

На защиту выносятся следующие основные положения.

1. Существенное повышение технико-экономических показателей приточно-вытяжной вентиляционной системы животноводческих помещений достигается в режиме внутренней рециркуляции с использованием двухступенчатого мокрого электрофилтра (ДМЭФ).
2. Конструктивные и технологические параметры ДМЭФ могут быть рассчитаны на основе полученных аналитических выражений, позволяющих оценить степень очистки воздуха от пылевых и аэрозольных частиц, микроорганизмов и вредных газов.
3. Повышение эффективности дополнительного улавливания пылевых и аэрозольных частиц ДМЭФ достигается путем регулирования длины воздуховода между ступенями очистки.
4. Техническая и экономическая целесообразность использования ДМЭФ обоснована результатами лабораторных и производственных испытаний при оценке параметров микроклимата и энергозатрат на очистку воздуха в животноводческих помещениях.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием сертифицированного оборудования и приемлемым совпадением данных теоретических и экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались, обсуждались и получили положительные отзывы на научно-практических конференциях, проводимых в ЧГАА (Челябинск, 2013, 2015 гг.), Ярославской ГСХА (Ярославль, 2013 г.) и ГАУСЗ (Тюмень, 2013-2014 гг.), а также на расширенном заседании кафедры «Энергообеспечение сельского хозяйства» ГАУСЗ (22.01.2015 г.).

Работа по теме исследования заняла первое место в программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») в номинации «Новые приборы и аппаратные комплексы» (Тюмень, 2013 г.), одержала победу в конкурсе «Лучшая инновационная идея ОАО «Гипротюменнефтегаз» в номинации «Молодой инноватор» (Тюмень, 2014 г.).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 14 научных статьях, 8 из которых - в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы (97 наименований, в том числе - 9 зарубежных источников), 4 приложений и содержит 110 страниц основного текста, 39 рисунков и 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, поставлена цель работы, отражена научная и практическая значимость, дана общая характеристика выполненных исследований.

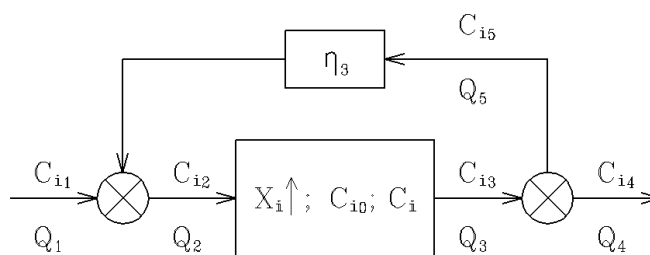
Первая глава *«Анализ проблемы комплексной очистки и обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях»* отражает результаты анализа отечественной и зарубежной литературы, посвященной вопросам электроочистки и обеззараживания воздуха, создания оптимального микроклимата в животноводческих помещениях.

В содержании главы обозначены основные проблемы, связанные с созданием микроклимата в животноводческих помещениях, приведены требования нормативных документов к параметрам микроклимата. Выполнен анализ требований к системам очистки рециркуляционного воздуха, существующих средств очистки, на основании которого сделан вывод, что оптимальными устройствами очистки воздуха являются электрофилтры, т.к. они обладают высокой степенью эффективности очистки (до 99 %), улавливают частицы любых размеров, включая и субмикронные, имеют неизменное аэродинамическое сопротивление и потребляют небольшое количество электроэнергии.

Проведен анализ механизмов очистки воздуха от пылевых и аэрозольных частиц, вредных газов в поле коронного разряда электрофилтра, за счет окисления озоном и за счет поглощения омывающей жидкостью, являющейся компонентом ДМЭФ.

На основании проведенного анализа состояния вопроса сделаны выводы и сформулирована научная задача настоящей работы: теоретическое и экспериментальное обоснование методики расчета основных конструктивных и технологических параметров двухступенчатого мокрого электрофилтра, повышающего эффективность системы комплексной очистки рециркуляционного воздуха животноводческих помещений, а также производительность и энергоэффективность работы приточно-вытяжной вентиляционной системы.

Вторая глава *«Теоретическое обоснование технологии комплексной очистки рециркуляционного воздуха с помощью двухступенчатого мокрого электрофилтра»* посвящена анализу системы рециркуляции воздуха в замкнутом объеме, структурная блок схема которой приведена на рисунке 1.



C_{i0} , C_i - соответственно начальная и текущая концентрация i -й вредно действующей компоненты в замкнутом объеме, мг/м^3 ; X_i - удельное выделение i -й вредно действующей компоненты в воздушную среду замкнутого объема, мг/м^3 ; Q_1 - объем воздуха, поступающий в единицу времени в систему снаружи, $\text{м}^3/\text{час}$; $Q_2 = Q_1 + Q_5$ - объем воздуха, поступающий в единицу времени в замкнутый объем, $\text{м}^3/\text{час}$; Q_3 - объем воздуха, удаляемый из замкнутого объема в единицу времени, $\text{м}^3/\text{час}$; $Q_4 = Q_3 - Q_5$ - объем воздуха, удаляемый из системы в единицу времени наружу, $\text{м}^3/\text{час}$; Q_5 - объем рециркуляционного воздуха, поступающего в единицу времени в электрофильтр, $\text{м}^3/\text{час}$; C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} , C_{i4} , C_{i5} - концентрация i -й вредно действующей компоненты соответственно в воздухе, поступающем в систему снаружи, поступающем в замкнутый объем, удаляемом из замкнутого объема, удаляемом из системы, поступающем в рециркуляционный электрофильтр, мг/м^3 ; η_3 - эффективность очистки воздуха от i -й вредно действующей компоненты воздушной среды в рециркуляционном фильтре.

Рисунок 1 - Структурная блок-схема системы очистки рециркуляционного воздуха в замкнутом объеме

Сделан вывод, что наиболее эффективной является работа системы очистки в режиме обычной циркуляции и внутренней рециркуляции одновременно, концентрация вредностей при котором определяется известным выражением:

$$C_i = \frac{C_{i1} \cdot N + X_i}{N + N_1 \cdot \eta_3} \cdot (1 - e^{-(N + N_1 \eta_3)t}) + C_{i0} \cdot e^{-(N + N_1 \eta_3)t}, \quad (1)$$

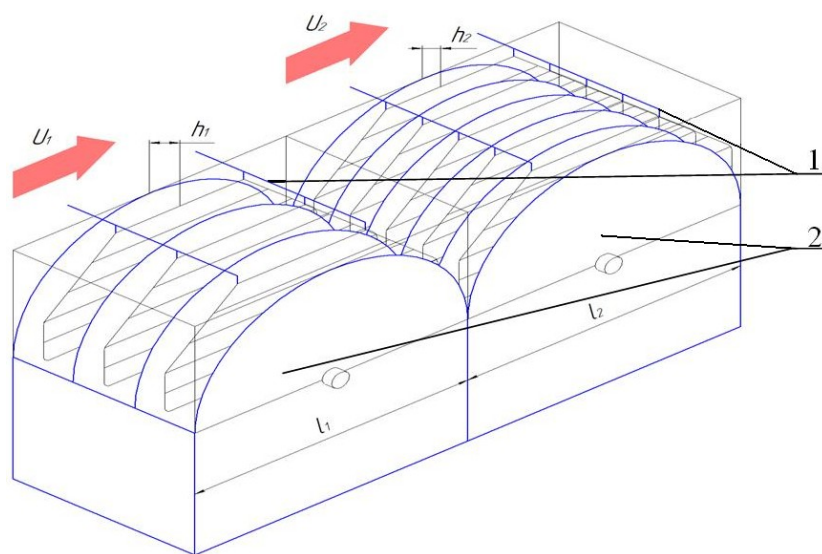
где t - время, час; N - кратность прямой циркуляции, час^{-1} ; N_1 - кратность внутренней рециркуляции, час^{-1} .

Эффективность работы системы комплексной очистки рециркуляционного воздуха может быть повышена с помощью двухступенчатого мокрого электрофильтра, схема которого представлена на рисунке 2.

ДМЭФ состоит из двух ступеней, в основу каждой из которых положен мокрый однозонный электрофильтр.

Конструктивное отличие первой и второй ступени в общем случае заключается в различии межэлектродных расстояний ($h_1 \neq h_2$), что позволяет повысить эффективность тонкой очистки от пыли и микроорганизмов, составе омывающей осадительные электроды жидкости, а также активной длине электрофильтра ($l_1 \neq l_2$) и скорости воздушного потока ($u_1 \neq u_2$).

Первая ступень (ступень грубой очистки) предназначена для очистки воздуха от пыли и крупнодисперсного аэрозоля, микроорганизмов, i -го вредного газа (основная очистка) и j -го вредного газа. Вторая ступень (ступень тонкой очистки) обеспечивает очистку от мелкодисперсного аэрозоля, j -го вредного газа (основная очистка) и доочистку от пыли, микроорганизмов, i -го газа.



для 1-й и 2-й ступеней ДМЭФ соответственно: h_1, h_2 - межэлектродное расстояние, м; u_1, u_2 - скорость воздушного потока, м/с; l_1, l_2 - активная длина электрофильтра; 1 – коронирующие электроды, 2 – осадительные электроды.

Рисунок 2 - Схема двухступенчатого мокрого электрофильтра

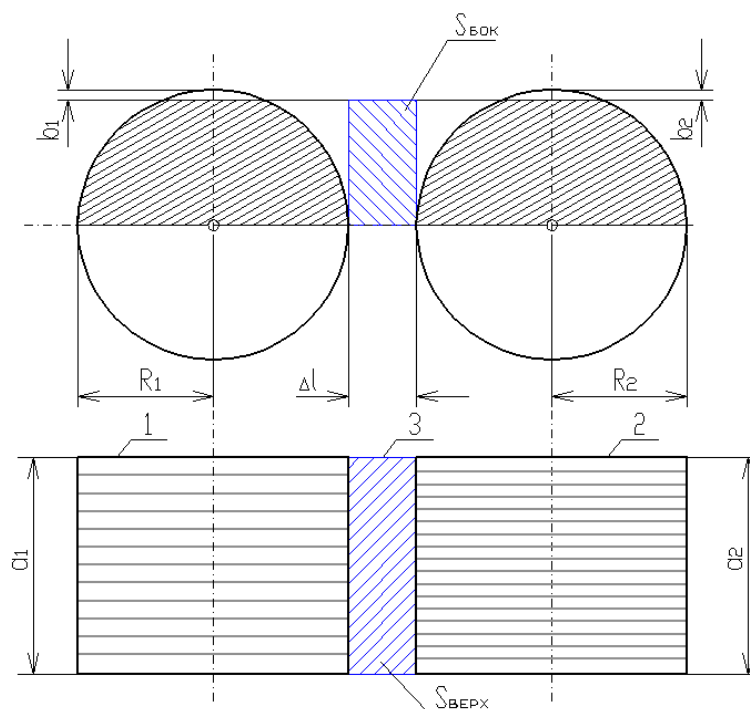
В общем виде эффективность очистки рециркуляционного воздуха определяется по известному выражению:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2), \quad (2)$$

где η_1, η_2 - эффективность очистки первой и второй ступени ДМЭФ соответственно.

Установлена аналитическая зависимость длины воздуховода, соединяющего первую и вторую ступени ДМЭФ, и эффективности дополнительного улавливания пылевых и аэрозольных частиц. Т.к. воздуховод образует непрерывную электрическую цепь с корпусами ступеней

ДМЭФ, внутренние стенки воздуховода являются продолжением осадительного электрода первой ступени и способствуют дополнительному осаждению на них пылевых и аэрозольных частиц (рисунок 3).



1, 2 – первая и вторая ступени ДМЭФ соответственно; 3 – соединительный воздуховод; Δl – длина соединительного воздуховода, м; $S_{верх}$, $S_{бок}$ – площадь верхней и боковой части соединительного воздуховода соответственно, m^2 ; для первой и второй ступеней ДМЭФ соответственно: α_1 , α_2 – ширина, м; R_1 , R_2 – радиус осадительного электрода, м; b_1 , b_2 – глубина фиксации осадительного электрода в верхнюю изоляционную плиту, м.

Рисунок 3 - План соединения ступеней ДМЭФ

В формулу (2) можно ввести величину $\eta_{дон}=f(\Delta l)$, влияющую на эффективность улавливания пылевых и аэрозольных частиц:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2) \cdot (1 - \eta_{дон}) \quad (3)$$

Значение $\eta_{дон}$ определяется экспериментально.

Автором были установлены аналитические выражения для расчета эффективности комплексной очистки рециркуляционного воздуха от пылевых и аэрозольных частиц, микроорганизмов и вредных газов с помощью ДМЭФ в зависимости от его конструктивных и технологических параметров.

Эффективность очистки воздуха от пылевых и аэрозольных частиц определится по выражению:

$$\eta_n = 1 - \exp\left(-\frac{w_1 l_1 h_2 u_2 + w_2 l_2 h_1 u_1}{h_1 u_1 h_2 u_2}\right), \quad (4)$$

где для 1-й и 2-й ступеней ДМЭФ соответственно: w_1, w_2 - скорость дрейфа частиц, м/с; h_1, h_2 - межэлектродное расстояние, м; u_1, u_2 - скорость воздушного потока, м/с; l_1, l_2 - активная длина электрофильтра, м.

Эффективность очистки воздуха от микроорганизмов в ДМЭФ будет равна:

$$\eta_{KOE} = 1 - (1 - \eta_{n1})^{0,66} \cdot (1 - \eta_{n2})^{0,66}, \quad (5)$$

где η_{n1}, η_{n2} - эффективность очистки от пылевых и аэрозольных частиц первой и второй ступеней ДМЭФ соответственно.

Эффективность очистки воздуха от i -вредного газа рассчитывается по формуле:

$$\eta_i = 1 - \exp\left[-\frac{l_1}{u_1} \left(k^{i1}_{O_3} + k^{i1}_{OЖ1}\right) - \frac{l_2}{u_2} \left(k^{i2}_{O_3} + k^{i2}_{OЖ2}\right)\right], \quad (6)$$

где $k^{i1}_{O_3}$ и $k^{i2}_{O_3}$ - константа скорости окисления i -ой газовой компоненты воздуха озоном соответственно в первой и второй ступени, $k^{i1}_{OЖ1}$ и $k^{i2}_{OЖ2}$ - константа скорости абсорбции i -ой газовой компоненты воздуха омывающей жидкостью соответственно в первой и второй ступени.

Произведена аналитическая оценка выбора основных конструктивных и технологических параметров ДМЭФ в зависимости от известных исходных параметров: значений концентраций пылевых и аэрозольных частиц (C_p), микроорганизмов (C_{KOE}) и вредных газов ($C_{газ}$) в животноводческом помещении, требуемой эффективности очистки рециркуляционного воздуха и кратности воздухообмена.

Рассмотрены составляющие уравнения теплового баланса свиноводческого помещения, на основании чего сделан вывод, что основной составляющей теплового баланса помещения для содержания поросят является расход теплоты на нагрев вентиляционного воздуха.

Произведен расчет необходимого воздухообмена помещения для содержания поросят массой до 60 кг. Величина воздухообмена принята 45 м³/ч на 1 ц. живой массы.

Определена зависимость снижения затрат тепловой энергии от кратности воздухообмена в режиме рециркуляции. За счет непрерывной очистки воздуха снижается количество наружного приточного воздуха, требуемого для поддержания параметров микроклимата в помещении в заданных пределах, что способствует снижению затрат тепловой энергии на его подогрев до нормируемой температуры в час (ккал):

$$\Delta Q = V_{\text{пом}} \cdot (t_2 - t_1) \cdot (N - N_2) \cdot \rho_0 \cdot c_0, \quad (7)$$

где $V_{\text{пом}}$ - объем помещения, м^3 ; t_1, t_2 - температура снаружи и внутри помещения соответственно, $^{\circ}\text{C}$; N - кратность прямой циркуляции, час^{-1} ; N_2 - кратность обычной циркуляции и внутренней рециркуляции с очисткой рециркуляционного воздуха, час^{-1} ; ρ_0 - плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; c_0 - удельная теплоемкость нагреваемого воздуха, $\text{ккал}/\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

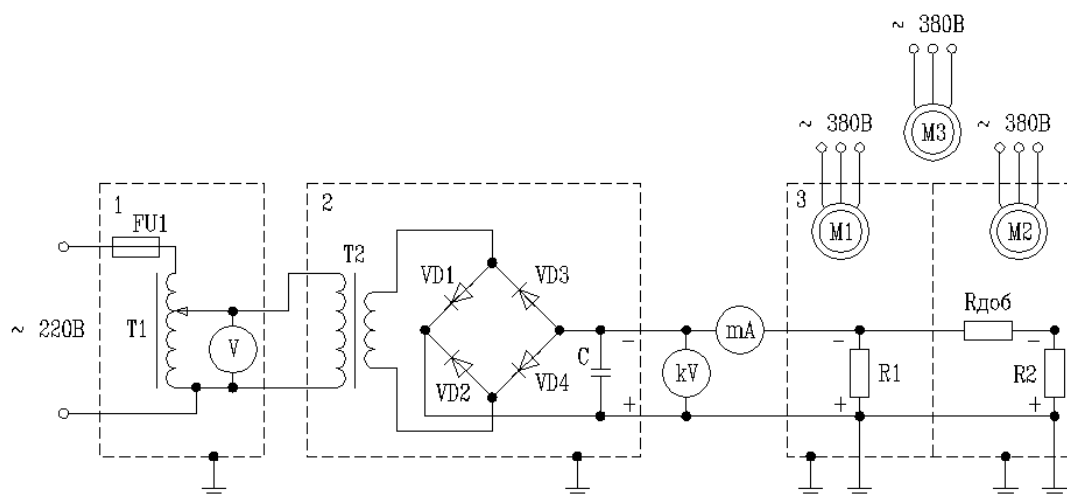
Выполнено обоснование основных конструктивных и технологических параметров опытного образца ДМЭФ исходя из требуемой степени эффективности очистки рециркуляционного воздуха (не менее 70 % для частиц размером 1 мкм) и параметров помещения, используемого для производственного эксперимента. Активная длина осадительных электродов составила 0,666 м; межэлектродное расстояние 25 мм и 15 мм для первой и второй ступени соответственно, площадь живого сечения электрофильтра 0,15 м^2 , напряжение питания 13 кВ, скорость воздушного потока 5,5 м/с.

В качестве омывающей жидкости для первой ступени была принята вода, эффективно поглощающая аммиак, для второй – водный раствор медного купороса с концентрацией 1 моль/л. Данная концентрация, согласно литературным данным, является оптимальной для очистки рециркуляционного воздуха от сероводорода как с технической, так и экономической точки зрения.

В третьей главе *«Экспериментальные исследования процесса очистки рециркуляционного воздуха с помощью двухступенчатого мокрого электрофильтра»* описана программа производства работ в лабораторных условиях, которая включала в себя:

- исследование коронирующей системы ДМЭФ;
- исследование эффективности улавливания пылевых и аэрозольных частиц размером 0,3; 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм отдельно для первой ступени, для второй ступени, совместно для обеих ступеней;
- исследование влияния длины воздуховода, соединяющего ступени очистки, на эффективность дополнительного улавливания пылевых и аэрозольных частиц размером 1 мкм .

Электрическая принципиальная схема экспериментального стенда, оснащенного опытным образцом ДМЭФ, представлена на рисунке 4.

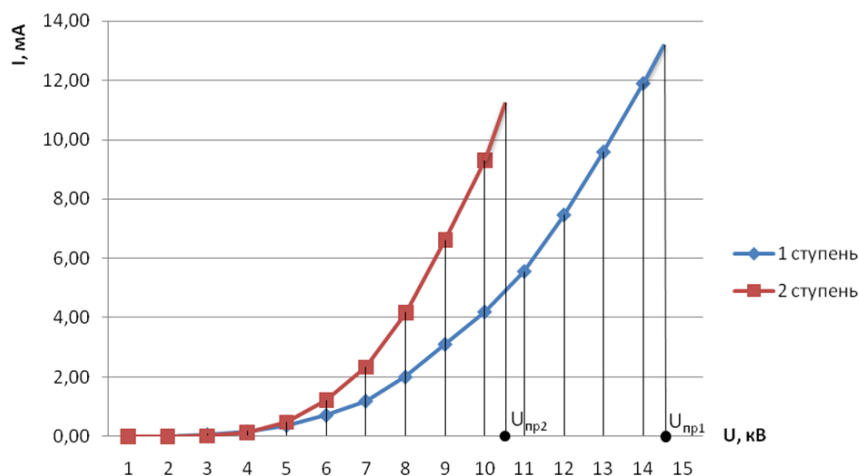


1 – ЛАТР; 2 – Плазон ИВНР-30/10; 3 - ДМЭФ; VD1...VD4 – диоды; C - выходной фильтр; M1, M2 – электроприводы осадительных электродов первой и второй ступени соответственно; M3 – электропривод вентилятора; R1, R2 – активное сопротивление систем коронирующих электродов первой и второй ступени соответственно; $R_{доб}$ – добавочное активное сопротивление второй ступени; mA – миллиамперметр; kV – киловольтметр.

Рисунок 4 - Электрическая принципиальная схема экспериментального стенда для исследования ДМЭФ

Установлены зависимости разрядного тока от напряжения на коронирующей системе $I = f(U)$ для обеих ступеней опытного образца ДМЭФ (рисунок 5) При этом напряжение пробоя составило 14,5 кВ и 10,5 кВ для первой и второй ступеней соответственно.

Для обеспечения работы обеих ступеней ДМЭФ от одного источника питания на напряжении 13 кВ в цепь коронирующих электродов второй ступени было последовательно введено добавочное сопротивление $R_{доб}$, равное 465 кОм.



$U_{пр1}$, $U_{пр2}$ – напряжение пробоя для первой и второй ступени ДМЭФ соответственно.

Рисунок 5 - ВАХ первой и второй ступени ДМЭФ

На рисунке 6 представлены результаты экспериментального исследования эффективности дополнительного улавливания пылевых и аэрозольных частиц $\eta_{доп}$ (%) в зависимости от длины соединительного воздуховода Δl , м.

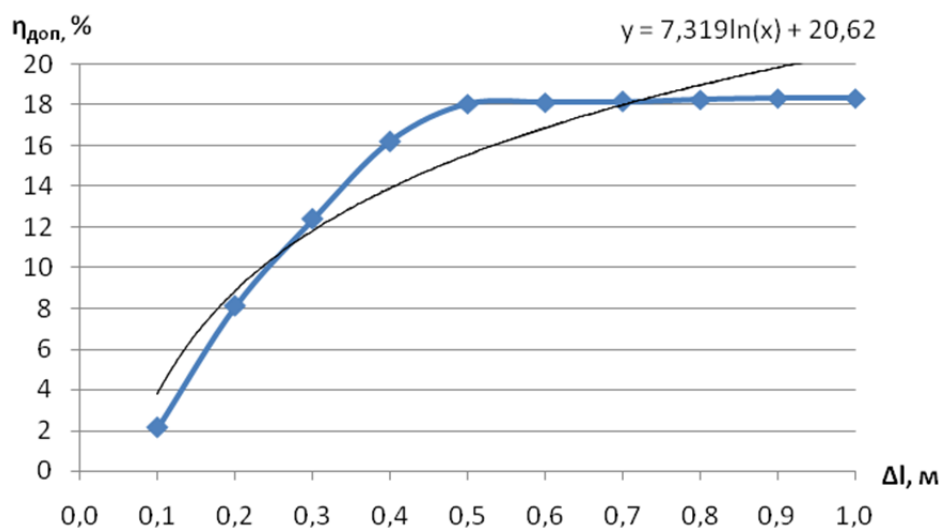


Рисунок 6 – Зависимость $\eta_{доп}=f(\Delta l)$

По полученному точечному графику была построена линия тренда и получено ее математическое описание. Таким образом, зависимость эффективности дополнительного улавливания пылевых и аэрозольных частиц от длины соединительного воздуховода определяется следующим выражением:

$$\eta_{доп} = 7,319 \cdot \ln(\Delta l) + 20,62 \quad (8)$$

Наибольшая эффективность дополнительного улавливания пылевых и аэрозольных частиц (18,06 %) была достигнута при длине воздуховода, соединяющего ступени ДМЭФ, равной 0,5 м.

Были получены результаты эффективности улавливания пылевых и аэрозольных частиц размером 0,3; 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм с помощью ДМЭФ (рисунок 7).

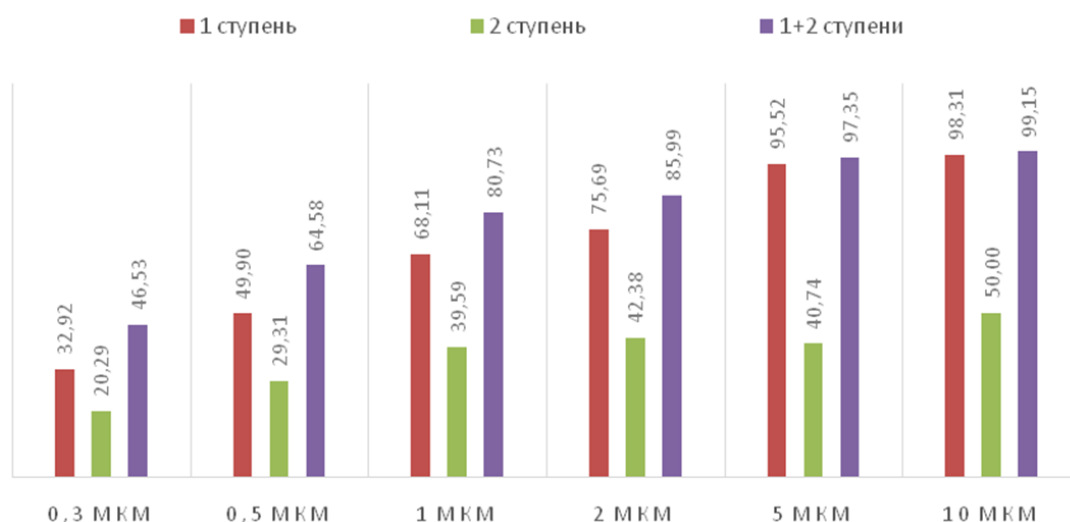


Рисунок 7 - Эффективность очистки воздуха от частиц размером 0,3...10 мкм в лабораторных условиях

Четвёртая глава «Производственная проверка энергоэффективной технологии очистки воздуха и экономическая оценка ее показателей» посвящена проведению комплексных испытаний в производственных условиях и обработке полученных результатов.

Программой работ предусматривалось:

- исследование состояния микроклимата в летний и зимний периоды;
- исследование эффективности улавливания пылевых частиц размером 0,3; 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм, вредных газов (аммиак, сероводород) отдельно для первой ступени, для второй ступени, совместно для обеих ступеней;
- проверка минимально допустимой кратности воздухообмена с применением внутренней рециркуляции воздуха в помещении для содержания поросят-отъемышей.

Экспериментальные исследования в производственных условиях проводились на свино-комплексе ООО «Согласие», расположенном в с. Новая Заимка Заводоуковского района Тюменской области. Для данных исследований была использована опытная секция (ОС) для содержания поросят-отъемышей в возрасте 2-4 мес. в количестве 400 гол. Для оценки достоверности полученных результатов была выбрана идентичная по своим параметрам контрольная секция (КС), в которой в аналогичный период содержалось такое же количество животных того же возраста.

Для определения средних показателей исследуемых параметров микроклимата замеры производились в семи точках, равномерно распределенных по помещению, согласно общепринятой методике.

На рисунках 8, 9, 10 представлены результаты исследований параметров микроклимата в летний и зимний периоды года, в опытной и контрольной секциях.

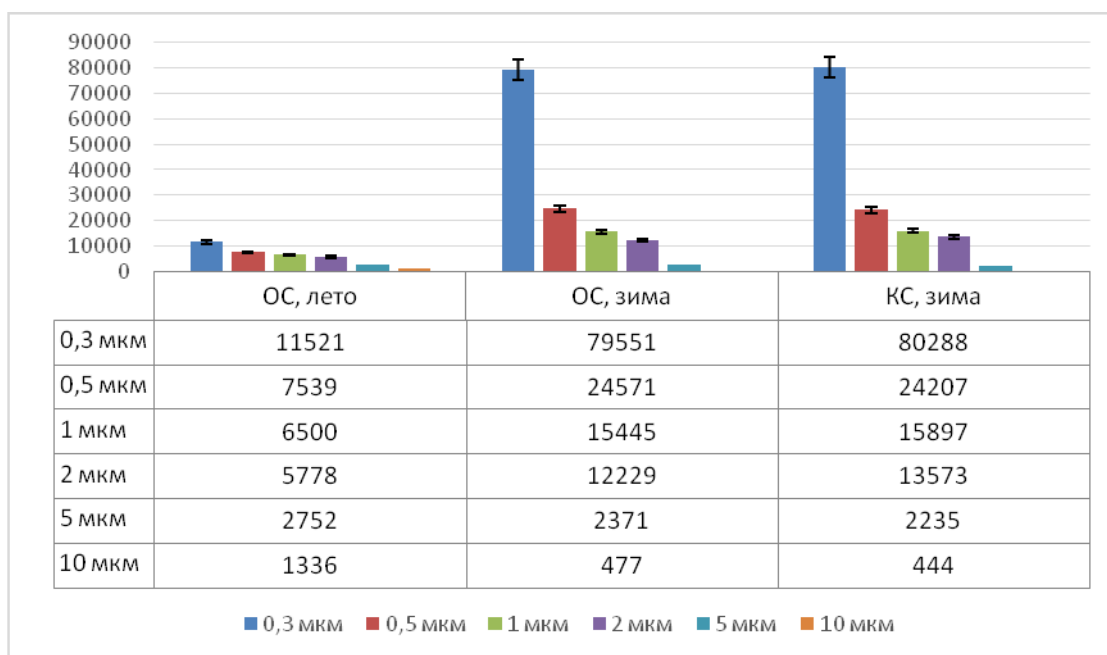


Рисунок 8 - Средние значения концентрации пылевых частиц размером 0,3...10 мкм в 1 м³ в ОС в летний и зимний периоды и в КС в зимний период

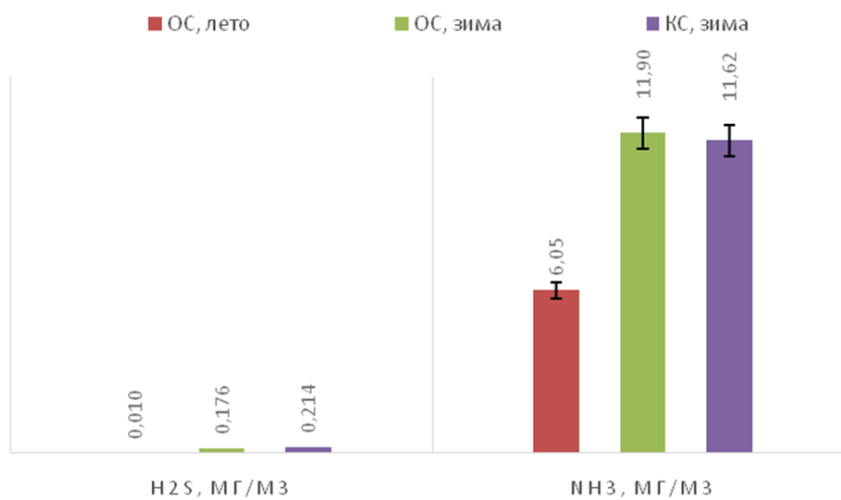


Рисунок 9 - Средние значения концентрации сероводорода, аммиака в ОС в летний и зимний периоды и в КС в зимний период

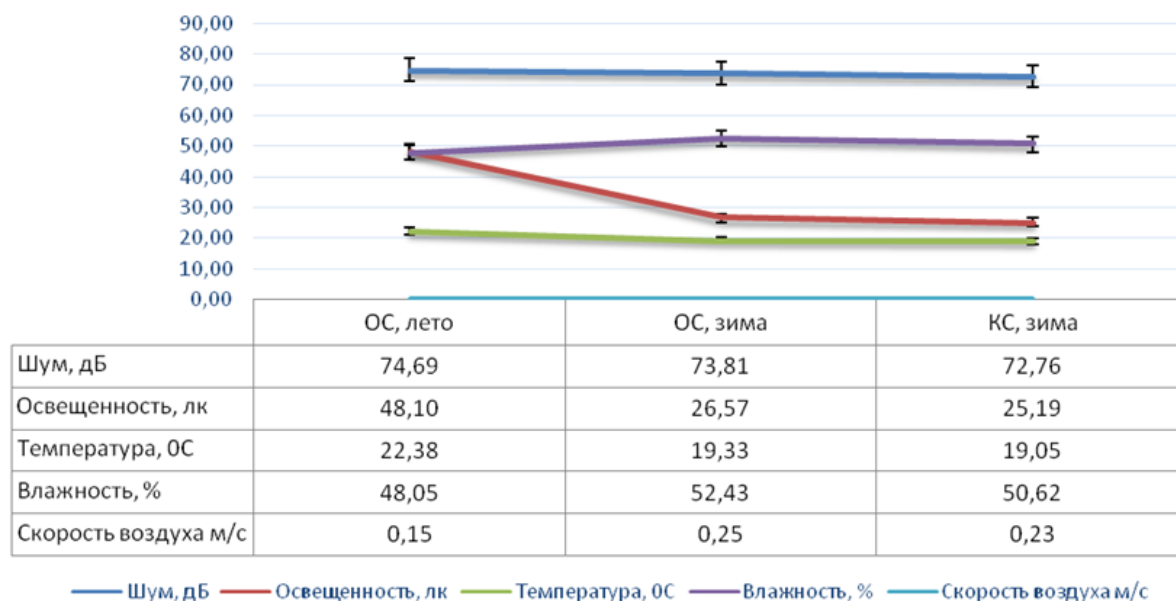


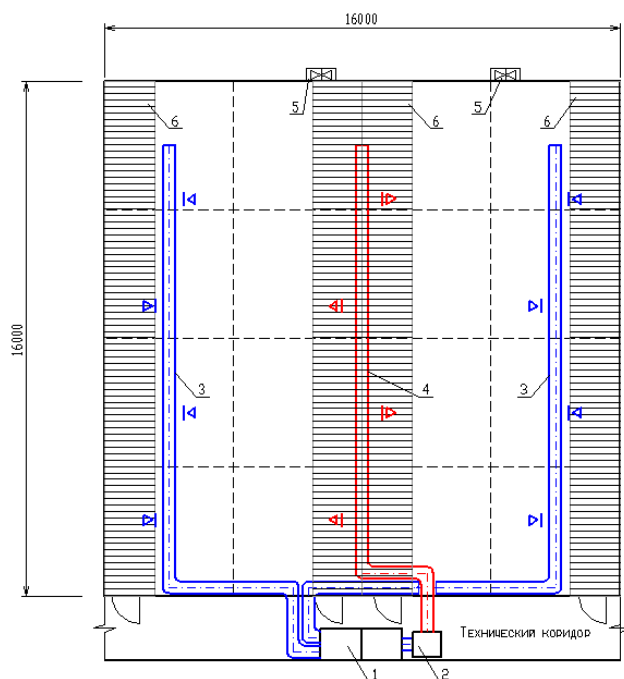
Рисунок 10 - Средние значения уровня шума, освещенности, температуры, влажности, скорости воздуха в ОС в летний и зимний периоды и в КС в зимний период

Исследование таких параметров микроклимата, как шум, освещенность, температура, влажность, скорость воздуха в опытной и контрольной секции проводилось с целью исключения влияния сторонних факторов на ход проведения и результаты эксперимента.

Основываясь на результатах исследований, был сделан вывод об обоснованности проведения производственных испытаний ДМЭФ именно в зимний период, вследствие большей концентрации в помещении вредных газов, пылевых частиц размером 0,3...2 мкм, а, следовательно, и большей части микроорганизмов.

Для проведения производственных испытаний в опытной секции для содержания поросят-отъемышей была смонтирована система очистки рециркуляционного воздуха на основе опытного образца ДМЭФ (рисунок 11).

Расчетная кратность воздухообмена, при которой в опытную секцию объемом 1472 м³ поступает требуемое нормами проектирования количество свежего воздуха, равна 3, обеспечивается воздухообменом в режиме внутренней рециркуляции с кратностью 2 в сочетании с обычной циркуляцией с кратностью 1.



- 1 – ДМЭФ;
- 2 – рециркуляционный вентилятор;
- 3 – вытяжной воздуховод;
- 4 – приточный воздуховод;
- 5 – вытяжной оконный вентилятор;
- 6 – навозоприемник

Рисунок 11 - План размещения оборудования в опытной секции

Результаты исследования эффективности очистки воздуха с помощью ДМЭФ в производственных условиях представлены на рисунках 12, 13.

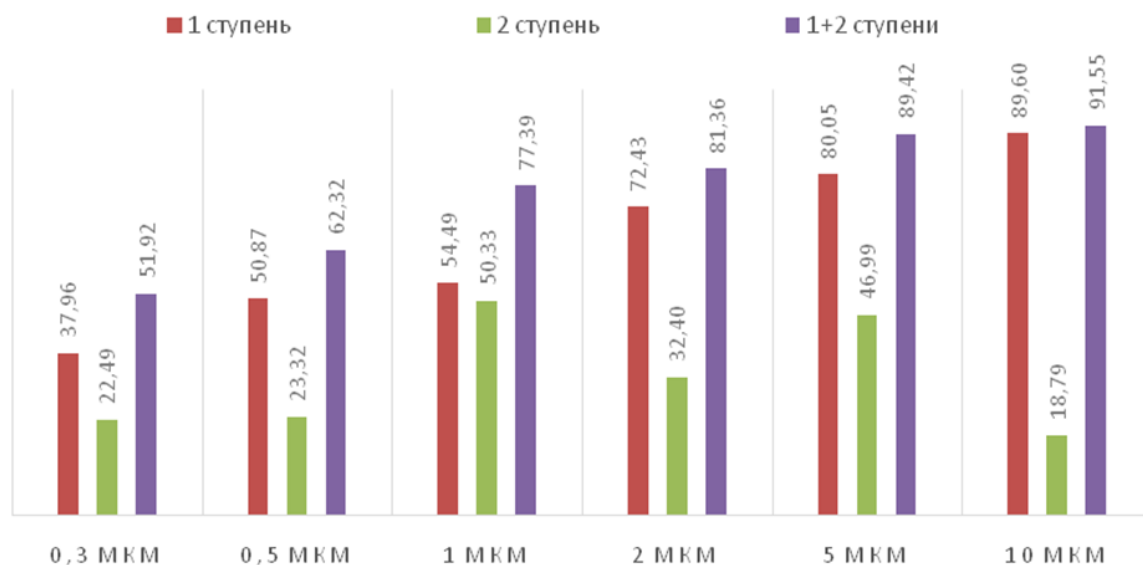


Рисунок 12 - Эффективность очистки воздуха от частиц размером 0,3...10 мкм в производственных условиях

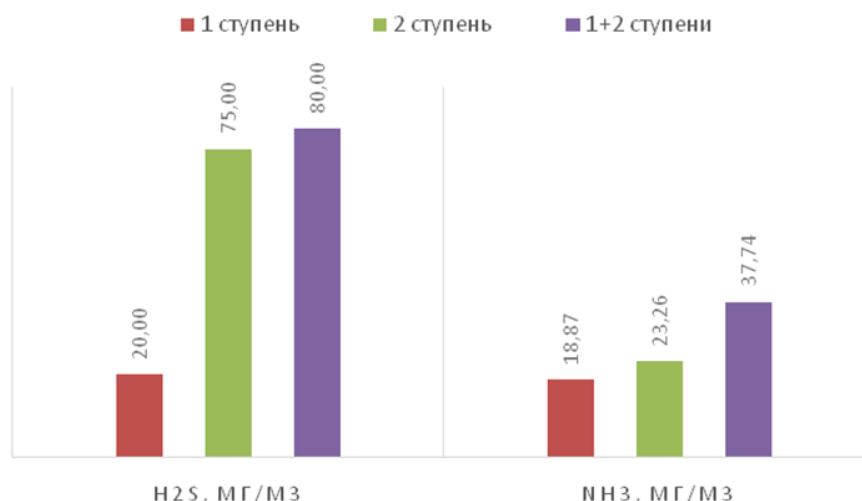


Рисунок 13 - Эффективность очистки воздуха от сероводорода, аммиака в производственных условиях

Для оценки эффективности очистки воздуха от пылевых и аэрозольных частиц, вредных газов с помощью ДМЭФ при расчетной кратности воздухообмена, равной 3, в опытной секции были проведены измерения концентрации данных частиц, вредных газов до включения системы очистки рециркуляционного воздуха на основе ДМЭФ и после ее работы в течение 1 часа (времени, в течение которого проходит воздухообмен с расчетной кратностью). Результаты измерений параметров микроклимата, проведенных до включения ДМЭФ и после его работы приведены на рисунках 14, 15, 16.

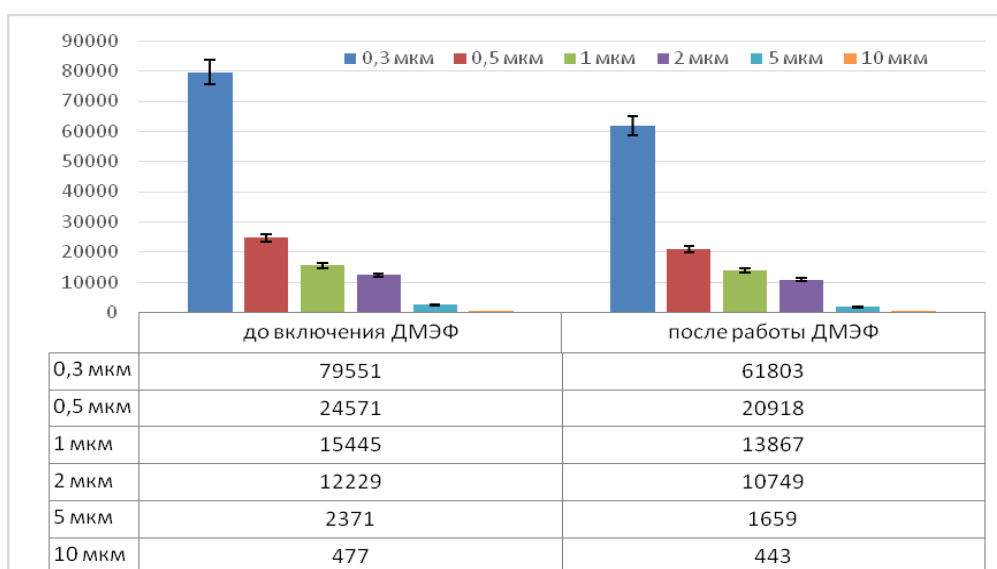


Рисунок 14 - Средние значения концентрации пылевых частиц размером 0,3...10 мкм в 1 м³ воздуха в ОС до и после работы ДМЭФ

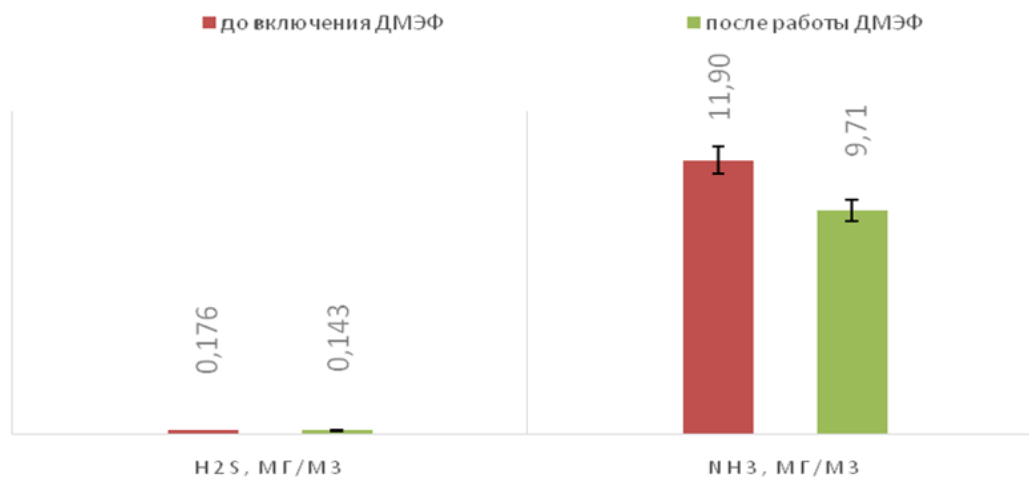


Рисунок 15 - Средние значения концентрации сероводорода, аммиака в ОС до и после работы ДМЭФ

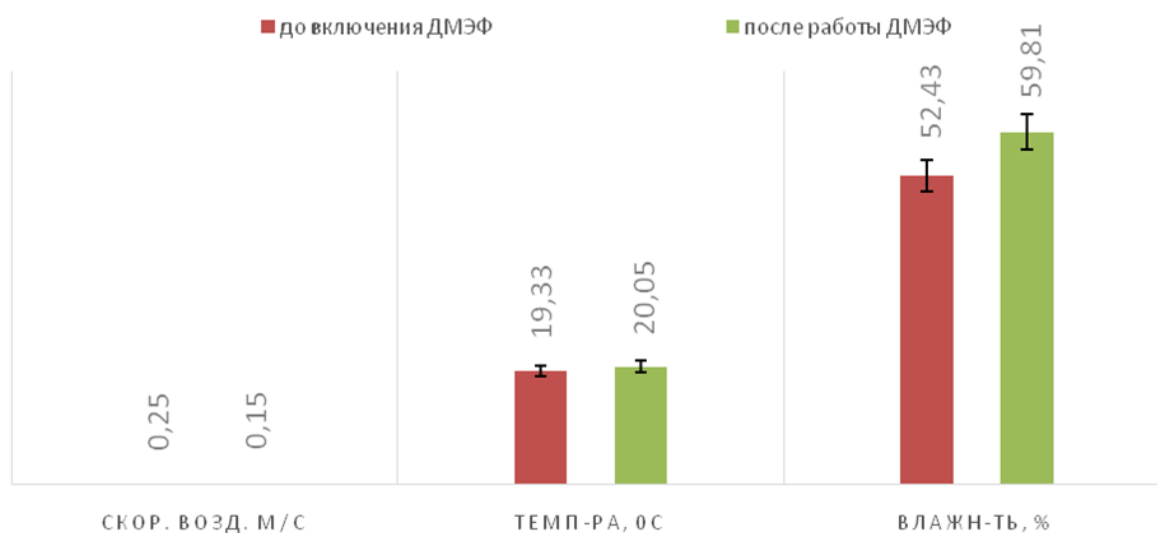


Рисунок 16 - Средние значения скорости воздуха, температуры, влажности в ОС до и после работы ДМЭФ

На основании сравнения результатов исследования состояния микроклимата в опытной секции до и после работы ДМЭФ установлено следующее:

- после работы рециркуляционной системы с очисткой воздуха в ДМЭФ концентрация аэрозольных частиц всех размеров, вредных газов (аммиак, сероводород) снизилась. Температура и влажность в помещении повысились, но находится в пределах нормы;
- кратность воздухообмена, равная 3, является достаточной для обеспечения нормируемых параметров микроклимата в помещении и не приводит к образованию концентраций загрязняющих веществ, влажности и температуры, превышающих нормируемые значения.

О сходимости лабораторного и производственного эксперимента по очистке воздуха от пылевых и аэрозольных частиц можно судить по данным, представленным на рисунке 17.

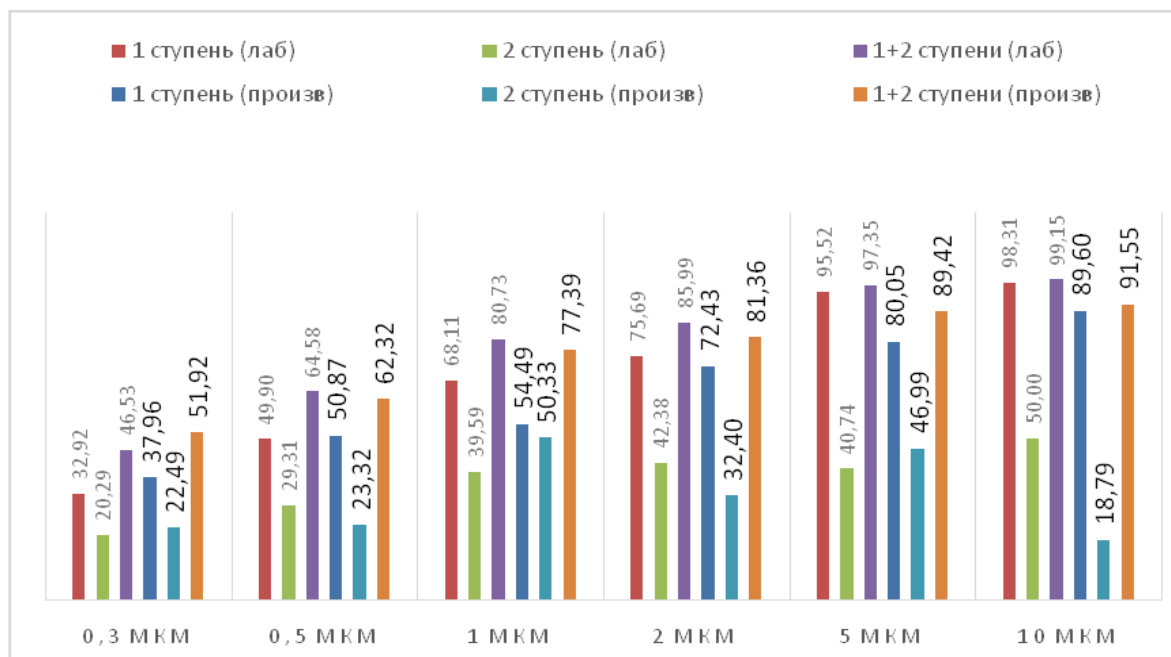


Рисунок 17 - Средние значения эффективности очистки воздуха от пылевых частиц размером 0,3 мкм...10 мкм при проведении лабораторного и производственного эксперимента

Анализ полученных данных показывает, что при проведении производственного эксперимента установка по очистке рециркуляционного воздуха обеспечивала требуемую степень чистоты рециркуляционного воздуха, что, в целом, свидетельствует об успешности данного эксперимента.

Результаты эффективности очистки рециркуляционного воздуха для частиц размером 1 мкм при проведении лабораторного эксперимента (80,73%) и производственного эксперимента (77,39%) оказались больше расчетной (76,58%). Отклонение значений обуславливается дополнительным осаждением пылевых и аэрозольных частиц на стенках воздуховода, соединяющего первую и вторую ступень.

В результате применения ДМЭФ для очистки рециркуляционного воздуха снижается кратность воздухообмена, необходимая для обеспечения искусственной вентиляции помещения, что позволяет сократить энергозатраты на нагрев приточного воздуха в течение года на 319,69 Гкал (371805 кВт·ч). При этом параметры микроклимата в помещении поддерживаются в нормируемых пределах.

Расчетное значение ежегодного экономического эффекта от внедрения системы очистки рециркуляционного воздуха на основе ДМЭФ превышает 456 тыс. руб. за счет повышения тех-

нологических показателей (77%) и снижения энергозатрат на отопление и вентиляцию помещения (23%). Дисконтированный срок окупаемости капитальных вложений составляет 2,8 года.

Были определены направления дальнейших исследований. Теоретически можно повысить качество, надежность и бесперебойность работы электрофильтра путем установки в нижней части электрофильтра системы ультразвуковой очистки осадительных электродов.

Ультразвуковые волны, распространяющиеся в омывающей жидкости от источника излучения, оказывают на поверхность осадительных электродов давление, обусловленное кавитационными явлениями. Кавитационные пузырьки производят местные гидравлические микроудары, способствующие разрушению образовавшегося слоя загрязнителей.

Практическая реализация данной идеи позволит расширить экспериментальную базу данных, касающихся мокрого однозонного электрофильтра. Данные исследования предполагаются в качестве перспективных.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Существенное повышение технико-экономических показателей приточно-вытяжной вентиляционной системы животноводческих помещений достигается в режиме внутренней рециркуляции с использованием двухступенчатого мокрого электрофильтра (ДМЭФ).

2. Конструктивные и технологические параметры ДМЭФ могут быть рассчитаны на основе полученных аналитических выражений, позволяющих оценить степень комплексной очистки рециркуляционного воздуха от пылевых и аэрозольных частиц, микроорганизмов и вредных газов.

3. Эффективную очистку воздуха животноводческих помещений от пылевых и аэрозольных частиц, микроорганизмов и вредных газов до нормированных значений обеспечивает ДМЭФ с активной длиной осадительных электродов 0,666 м, межэлектродным расстоянием 25 мм и 15 мм для первой и второй ступени соответственно, площадью входного отверстия 0,15 м², напряжением питания 13 кВ, скоростью воздушного потока 5,5 м/с.

4. Экспериментально установленная длина воздуховода между ступенями очистки ДМЭФ, обеспечивающая наибольшую эффективность дополнительного улавливания пылевых и аэрозольных частиц (более 18 %), составляет 0,5 м.

5. Экспериментальные исследования опытного образца ДМЭФ в лабораторных условиях показали, что эффективность очистки от пылевых и аэрозольных частиц размером 0,3...2 мкм находилась в пределах от 46,5 % до 86 %, а размером 1 мкм и более - превышала 80 %, что соответствует требованиям, предъявляемым к системам очистки рециркуляционного воздуха животноводческих помещений.

6. В результате производственной проверки опытного образца ДМЭФ установлено, что эффективность очистки рециркуляционного воздуха выше, чем у мокрого однозонного электрофильтра и составляет от пылевых и аэрозольных частиц размером 0,3...10 мкм - 51,9...91,5 %, от аммиака – не менее 37 %, от сероводорода – не менее 80 % при скорости воздушного потока 5,5 м/с.

7. Расчетное значение ежегодного экономического эффекта при использовании ДМЭФ для комплексной очистки рециркуляционного воздуха в помещении для содержания поросят-отъемышей на 400 гол. превышает 456 тыс. руб. при дисконтированном сроке окупаемости 2,8 лет. При этом достигается снижение энергозатрат на отопление и вентиляцию помещения на 319,69 Гкал (371805 кВт·ч), что составляет 180,46 тыс. руб. в год (23 % от величины ежегодного экономического эффекта).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Возмилов, А. Г. Результаты производственных испытаний мокрого электрофильтра [Текст] / А. Г. Возмилов, Л. Н. Андреев, Д. В. Астафьев, Б. В. Жеребцов, А. А. Дмитриев / Вестник КрасГау. – 2013. - №8 – С. 185-192.
2. Возмилов, А. Г. Разработка полной методики расчета эффективности очистки воздуха от пыли, микроорганизмов и вредных газов с помощью двухступенчатого мокрого электрофильтра [Текст] / А. Г. Возмилов, Л. Н. Андреев, Б. В. Жеребцов, А. А. Дмитриев / Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. - №4. - т. 9. - С. 60-65.
3. Дмитриев, А. А. Оценка целесообразности применения мокрого однозонного электрофильтра для очистки рециркуляционного воздуха в системах вентиляции на объектах нефтегазового комплекса [Текст] / А. А. Дмитриев, В. П. Фрайштетер / Нефтяное хозяйство. – 2013. - №5. - С. 114-116.
4. Возмилов, А. Г. Об основных задачах, решаемых при проектировании мокрых электрофильтров [Текст] / А. Г. Возмилов, Л. Н. Андреев, Б. В. Жеребцов, А. А. Дмитриев / Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. - №1. - т.10. - С. 24-28.
5. Возмилов, А. Г. Энергосберегающие технологии микроклимата [Текст] / А. Г. Возмилов, Л. Н. Андреев, Н. И. Смолин, А. А. Дмитриев / Свиноводство. – 2014. - №8. - С. 52-55.
6. Возмилов, А. Г. Анализ систем очистки воздуха в животноводческих и птицеводческих комплексах [Текст] / А. Г. Возмилов, В. Б. Файн, Л. Н. Андреев, А. А. Дмитриев, В. В.

Юркин / Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. - №4. - т.10. - С. 45-52.

7. Дмитриев, А. А. Повышение энергоэффективности систем отопления и вентиляции зданий путем использования двухступенчатого электрофилтра [Текст] / А. А. Дмитриев, В. П. Фрайштетер / Нефтяное хозяйство. – 2014. - №6. - С. 122-123.

8. Дмитриев, А. А. Очистка вентиляционного воздуха свиноферм [Текст] / А. А. Дмитриев, А. Г. Возмилов, Л. Н. Андреев, В. В. Юркин / Свиноводство. – 2015. - №2. - С. 38-39.

Публикации в других изданиях

1. Дмитриев, А. А. Расчет эффективности двухступенчатого мокрого электрофилтра по очистке воздуха от пыли и вредных газов [Текст] / А. А. Дмитриев / Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых ученых. – ГАУСЗ - Тюмень. – 2013. - С. 241-245.

2. Возмилов, А. Г. Двухступенчатый электрофилтр для очистки рециркуляционного воздуха в животноводстве [Текст]. / А. Г. Возмилов, Л. Н. Андреев, А. А. Дмитриев / Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Энергосберегающие технологии». - Ярославль. – 2013. - С. 6-11.

3. Возмилов, А. Г. Устройство и методика расчета эффективности двухступенчатого мокрого электрофилтра при комплексной очистке рециркуляционного воздуха [Текст]. / А. Г. Возмилов, Л. Н. Андреев, А. А. Дмитриев, Н. И. Смолин, Б. В. Жеребцов / Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Энергосберегающие технологии». - Ярославль. – 2013. - С. 11-18.

4. Дмитриев, А. А. Повышение энергоэффективности систем отопления и вентиляции животноводческих помещений путем использования двухступенчатого мокрого электрофилтра для очистки рециркуляционного воздуха [Текст] / А. А. Дмитриев / Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых ученых. – ГАУСЗ - Тюмень. – 2014. - С. 209-212.

5. Дмитриев, А. А. Предпосылки и перспективы применения энергосберегающих технологий для очистки воздуха в животноводческих комплексах [Текст] / А. А. Дмитриев / Вестник ГАУСЗ. – 2014. - №1(24). - С. 57-60.

6. Дмитриев, А. А. Методика оценки финансово-экономической эффективности применения мокрых электрофилтров на производстве [Текст] / А. А. Дмитриев / Вестник ГАУСЗ. – 2014. - №4(27). - С. 56-61.

Авторские свидетельства, патенты

1. Мокрый озонный электрофильтр с ультразвуковой системой очистки осадительных электродов [Текст]: пат. 149653 Рос. Федерация: МПК F24F / А.Г. Возмилов, Л.Н. Андреев, А.А. Дмитриев, В.В. Юркин. - № 2014137579/12; заявл. 16.09.2014; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.

Подписано в печать «__» _____ 2015 г.

Формат А5. Объем 1,0 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Заказ № _____ УОП «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»