

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

УДК 621.359.4:621:384.4:631.17

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 (технические науки)

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
Юферев Леонид Юрьевич
доктор технических наук,
доцент

Москва – 2022

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	10
1.1 Проблема очистки воздуха в помещениях для содержания птицы	10
1.2 Классификация пыли и микроорганизмов в птицеводческих помещениях	16
1.3 Анализ методов и средств обеспыливания и обеззараживания воздуха	19
1.4 Очистка воздуха озоном от вредных газовых составляющих и действие озона на живые организмы	26
1.5 Выводы по главе, цель и задачи исследования	28
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА	30
2.1 Анализ процесса обеспыливания в комбинированной электроустановке	31
2.1.1 Теоретические исследования движения частиц пыли в электрофилтре	33
2.1.2 Расчет напряженностей электрического поля, потенциала и заряда коронирующего электрода	39
2.1.3 Движение частицы в секции зоны ионизации	45
2.1.4 Движение частицы в секции зоны осаждения	46
2.1.5 Показатели эффективности обеспыливания воздуха от пыли	50
2.1.6 Время работы электрофилтра и связь времени с показателями эффективности обеспыливания воздуха	53
2.1.7 Расчет показателя эффективности обеспыливания воздуха при однократном проходе через электрофилтр	54
2.2 Анализ процесса обеззараживания воздуха в комбинированной электроустановке	55
2.2.1 Определение бактерицидного потока лампы	56
2.3 Выводы по главе	58
3 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОН ИОНИЗАЦИИ, ОСАЖДЕНИЯ, БАКТЕРИЦИДНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА	59
3.1 Влияние потенциала коронирующего электрода на напряженность электрического поля и зарядку частиц в ионизаторе	59
3.2 Движение частиц в зоне ионизации	62
3.3 Напряженность электрического поля в зоне осаждения и связь длины пластин электродов с напряженностью	64

3.4 Исследование скорости частиц пыли и количества зон осаждения	66
3.5 Оценка связи между показателем эффективности обеспыливания воздуха и временем работы электрофильтра	77
3.6 Определение режима работы комбинированной электроустановки	79
3.7 Выводы по главе.....	81
4 РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ПТИЦЫ	82
4.1 Обоснование основных параметров.....	82
4.2 Разработка комбинированной установки обеспыливания и обеззараживания воздуха	85
4.3 Выводы по главе.....	91
5 ИСПЫТАНИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ	93
5.1 Лабораторные эксперименты разработанной комбинированной электроустановки, их результаты и анализ	93
5.2 Испытания комбинированной электроустановки в боксе с птенцами перепелов, их результаты и анализ	99
5.3 Техничко–экономическая оценка применения комбинированной электроустановки	107
5.4 Выводы по главе.....	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ А	136
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	154
ПРИЛОЖЕНИЕ В	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	162

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В настоящее время в сельском хозяйстве существуют крупные птицеводческие комплексы, для которых характерны высокая плотность посадки птиц. Вследствие этого в закрытом помещении птичников, а также за пределами данных комплексов выделяется большое количество различных вредных составляющих в воздух, среди которых пыль, микроорганизмы и вредодействующие газы. Концентрация данных составляющих в птицеводческих помещениях зависит от ряда факторов и, как правило, значительно превышает предельно допустимые концентрации (ПДК).

Птичники являются наиболее запыленными сельскохозяйственными помещениями. Вентиляционные системы в помещениях для содержания птицы рассчитываются по содержанию углекислого газа, сероводорода и аммиака в помещении. Установлено, что в периоды раздачи кормов, кормления птицы, уборки помещений концентрация пыли увеличивается до 33 мг/м^3 [69], превышая ПДК более чем в 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 животноводческих помещений на основе электрофильтрации воздуха позволяют достичь эффективности обеспыливания 35%, что недостаточно для поддержания параметров микроклимата в допустимых концентрациях. При этом исследования электрофильтров не проводились в птичниках, являющиеся наиболее запыленными сельскохозяйственными помещениями.

Из общего количества пыли в птичнике 10-40% содержит на себе микроорганизмы. При этом высокая запыленность помещений приводит к уменьшению бактерицидного потока ламп до 41% [62]. Необходимо проводить регулярную очистку ламп от пыли, чтобы эффективность обеззараживания приборов находилась на первоначальном уровне.

Эффективность обеззараживания воздуха ультрафиолетовыми облучательными установками в помещениях для содержания птицы не превышает 73% и со временем работы уменьшается, если не проводить своевременную очистку ламп от пыли. Осложняет эту ситуацию и то, что пылевые частицы являются переносчиками микроорганизмов. При превышении ПДК заболеваемость птиц увеличивается до 25%, а падеж до 10%.

Исследования концентрации микроорганизмов в воздушной среде в зависимости от удаленности от крупных птицеводческих комплексов показывают, что микроорганизмы могут перемещаться до 3000 метров от источника загрязнения. Размер санитарно-защитной зоны крупного птицеводческого предприятия составляет 1200 м. Это говорит, что даже при соблюдении всех технологических норм на птицеводческих предприятиях есть риск вспышки птичьего гриппа. Только в 2020 году выявлено 83 случая высокопатогенного гриппа птиц (72 - среди домашней, 11 - среди дикой птицы) в Республике Татарстан, в Саратовской, Самарской, Ростовской, Астраханской и Пензенской областях [33].

Таким образом, к решению проблемы обеспыливания и обеззараживания воздуха в птицеводческих помещениях необходимо подходить комплексно. Предлагается разработка новой комбинированной электроустановки на основе комбинации электрофильтрации и ультрафиолетового облучения для эффективной очистки воздуха в птичниках.

Степень разработанности темы исследования. Разработке научной базы вопроса очистки воздуха различными электротехническими способами посвящены работы следующих авторов: Лебедь А.А., Славин Р.М., Самарин Г.Н., Басова А. М., Возмилов А. Г., Кирпичниковой И.М., Илимбетов Р.Ю., Андреев Л.Н. Звездакова О.В., Жеребцов Б.В., Еськова С.В., Ван Ч., Дель М.В., Лекомцев П.Л., Шевченко А.А., Прокопенко А.А., Акулова Т.Н., Морозов В.Ю., Колесников Р.О., Шестопапов Н.В., Алиев А.А., Довлатов

И.М., Юферев Л.Ю., Алферова Л.К., Микаева С.А., Василяк Л.М., Першин А.Ф., Сторчевой В.Ф., Сысоев В.В., Кожурин В.М. и другие.

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

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

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

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 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, включающей 103 наименований, в том числе 3 – на иностранном языке и 4 приложений.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Проблема очистки воздуха в помещениях для содержания птицы

В последние десятилетия уровень урбанизации населения России стремительно растет. Обеспечение продуктами питания больших городов – одна из проблем современного общества, которая является комплексной и порождает много других вопросов. Птицефермы, птицефабрики, располагаются все ближе к большим городам, непрерывный рост городского населения требует увеличения производства сельскохозяйственной продукции, что, как правило, ведет к увеличению плотности посадки птиц на ограниченном пространстве. Данная проблема является комплексной, охватывает и технологическую составляющую, и сферу экономики, также несет экологическую нагрузку на окружающую среду.

Одно из важных направлений сельскохозяйственной отрасли в настоящее время является «достижение значения индекса производства продукции сельского хозяйства в 2030 году в объеме 114,6 процента по отношению к уровню 2020 года», задачи для выполнения которого обозначены утверждённой приказом правительства РФ государственной программой «Развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» [55]. Это говорит о том, что объемы производства продукции будут расти, а технологии, используемые в сельском хозяйстве, должны развиваться, учитывая новые проблемы, возникающие при реализации поставленных задач.

На отечественном рынке мясо птицы является доступным и самым потребляемым мясным продуктом, при этом потребление его ежегодно растет.

Если в 1990 году на душу населения приходилось 12 кг отечественного мяса птицы, то в 2012 году потребление данной продукции составило уже более 25 кг/чел. [28]. В 2021 году душевое потребление россиянами мяса птицы составило 34 кг/чел. (рисунок 1.1.) [68].

Как уже сказано выше, для современного птицеводства характерны высокая плотность размещения птиц. Нормы плотности посадки птицы приведены в специальной литературе [67], к примеру, плотность посадки цыплят-бройлеров при напольном содержании составляет 20 голов на м², при клеточном содержании от 420 см² на одну голову.

Высокая плотность размещения птицы позволяет снизить затраты на стоимость площади для 1 головы птицы, удельные затраты на единицу продукции и увеличить продуктивность птицы [1]. Но также при высокой плотности посадки птицы состояние и состав воздуха ухудшаются, что ведет к увеличению рисков заболеваемости птицы. Так, в России зафиксированы 64 вспышки гриппа птиц только за 11 месяцев 2021 года, из них в октябре — 32 вспышки, которые мгновенно спровоцировали рост цен на мясо птицы и яйцо [68, 71].

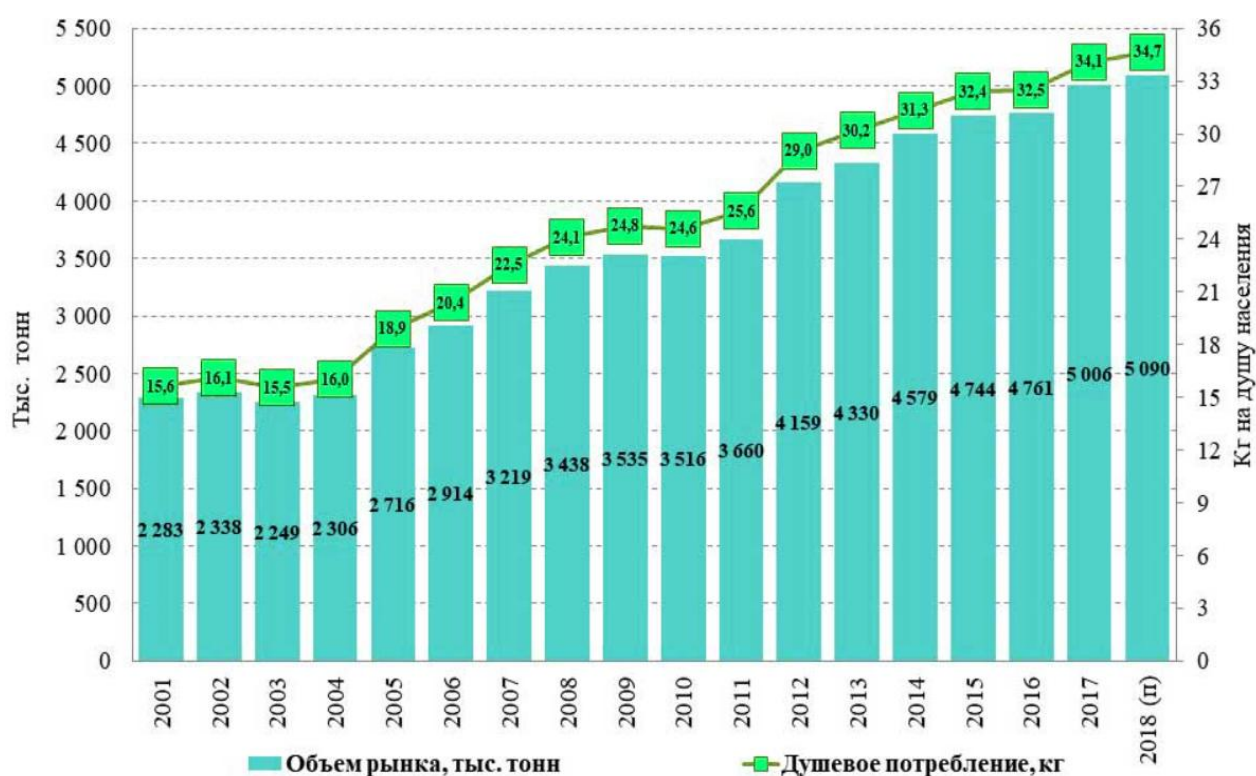


Рисунок 1.1 – Объем российского рынка птицы. Потребление мяса птицы на душу населения [68]

Проблемой обеспыливания и обеззараживания воздуха сельскохозяйственных помещений занимались и занимаются ученые с

разных точек постановки вопроса, начиная со способов размещения животных и птиц, конкретного вида особи, возраста скота, экологической территориальной обстановки и т.д.

В таблице 1.1. приведены санитарные нормы ПДК газов, пыли и микроорганизмов в птичнике [43].

Таблица 1.1 – ПДК газов, пыли и микроорганизмов в птичнике [43]

Озон	0,1 мг/м ³
Пыль	2-5 мг/м ³
Сероводород	5 мг/м ³
Аммиак	15 мг/м ³
Углекислый газ	0,25 %
Микроорганизмы	100-250 тыс. МКО/м ³

Для взрослой птицы концентрация микроорганизмов не должна превышать 250 тыс. микробных тел на 1 м³, для молодняка не более 100 тыс. микробных тел на 1 м³ [52].

Данные по температуре, влажности и скоростного напора воздуха, допустимых в птичниках, приведены в источниках [14; 67] (таблицы 1.2 и 1.3). так, в зависимости от содержания и возраста птицы температура должна находиться в пределах от 21,58 до 30 °С., влажность от 60 до 75%. Для взрослой курицы скорость движения воздуха не должна превышать 1 м/с, а для молодняка не более 0,6 м/с. В работе Перепелкина Н. В. [59] говорится, что в помещениях с птицами количество пыли не должно быть свыше 6 мг/м³, а микроорганизмов не более 100 тыс. микробных тел на 1 м³.

Помещения для содержания птицы различаются по видам, возрастам, а также по способу содержания птицы [28, 67]. 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 33мг/м³[69], превышая ПДК свыше 6 раз.

В воздушной среде птицеводческих помещений количество вредных составляющих значительно превышает зоотехнические и санитарно-гигиенические нормы по концентрации пыли и вредным газовым составляющим (дурнопахнущие вещества, аммиак, сероводород и др.) [16].

Исследования составляющих воздуха птичников М. Saleh с соавт. [52] говорят, что концентрация пыли до 10 мг/м^3 наблюдалась при выращивании бройлеров в конце 4-й нед откорма.

В исследовании [2] указано, что в птичниках при напольном содержании бактериальная загрязненность воздуха увеличивалась к концу откорма цыплят до 19 раз. По данным К. Bródka с соавт. [101], суммарные концентрации бактерий внутри птичников находились в пределах от $4,74 \times 10^4$ до $1,89 \times 10^8$ микробных тел на 1 м^3 .

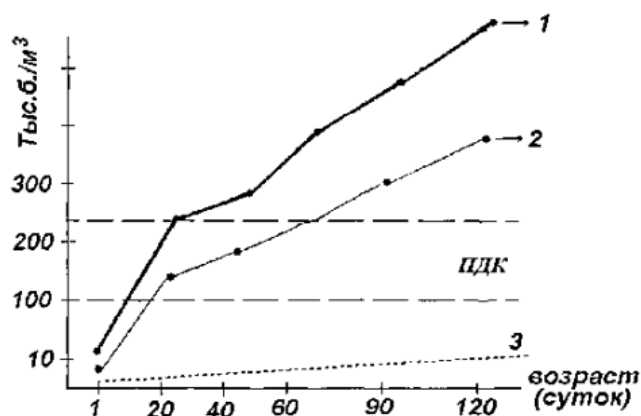
Исследования воздуха птичников в разные сезоны года [1] показали, наибольшие запыленность и микробная обсеменённость приходится в осенне-зимнее время – до 9 мг пыли в 1 м^3 и 590877 микробных тел в 1 м^3 .

Таким образом, исследования показывают, что концентрации микроорганизмов и пыли в птичниках во много раз превышают ПДК.

Высокая концентрация пыли снижает иммунитет птицы, ведет к росту заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем, что приводит к уменьшению прироста птицы и экономическим потерям. При этом в работах [35; 60] Канифовой Р.Р. и Поломошновой И.А. описано, что птенцы имеют более слабый иммунитет по сравнению со взрослой птицей. При концентрации вредоносных микроорганизмов свыше 910 микробных тел в 1 м^3 заболеваемость увеличивается до 25%, падеж увеличивается до 10% [94; 95].

Превышение ПДК пыли, вредных газов и микроорганизмов негативно влияет не только на организм птицы, но и опасно для работников птичников [40; 50]. В работе [52] приводятся данные, что респираторные заболевания встречаются до 20% от всех работников сельскохозяйственной отрасли.

В работе [95] приведена динамика роста концентрации микроорганизмов в птичнике (рисунок 1.2). Данная динамика показывает, что уже на 20 сутки жизни птицы общая бактерицидная обсеменённость превышает ПДК.



1-общая бактерицидная обсеменённость воздуха; 2-стафилококки;
3-кишечные палочки

Рисунок 1.2 – Динамика роста концентрации микроорганизмов в птичнике [95]

В работах [25; 26; 52] говорится, что основной пик обсемененности происходит во время кормления птицы. В эти моменты ветеринары рекомендуют применять дополнительные технические средства помогающие вентиляции справляться с пиковыми значениями по обсемененности.

Анализ исследований процессов очистки воздуха от микроорганизмов, вирусов и бактерий в помещениях для содержания птицы говорит, что основные проблемы заключаются в проведении процессов обеззараживания в присутствии птицы и неизменном показателе эффективности обеззараживания во время проведения всех технологических процессов в птичнике.

Также к проблеме обеззараживания воздуха относят вопрос снижения эффективности облучательных приборов из-за большого оседания пыли на лампах, необходимости регулярной очистки приборов от пыли.

Пыль негативно влияет на электрооборудование в птичниках, Пыль, будучи, как правило, гигроскопичной оседает на изоляцию и токоведущие части, благоприятствует увлажнению и ухудшает качество изоляции, а также ухудшает охлаждение [49]. В работе [18] говорится, что очистка вытяжного воздуха позволяет электрооборудование в сельском хозяйстве от загрязнений, основная часть которых составляет относительно крупные частицы (87%) размером 4 мкм и более.

Особенно отрицательно пыль действует на работу осветительных и облучательных установок, резко уменьшая общую освещенность или облученность (рисунок 1.3). В исследованиях [62] выявлено, бактерицидный поток облучателей снижается на 41,6% за 2 часа работы по причине высокой запыленности.



Рисунок 1.3 – Оседание пыли на осветительных приборах

При этом периодичность технического обслуживания светотехнического оборудования по планово-предупредительной системе обслуживания проводится не чаще раз в 3 месяца [49], что говорит о снижении эксплуатационных показателей оборудования в птичниках.

К решению проблемы очистки воздуха птичников от пыли и вредоносных микроорганизмов необходимо подходить комплексно, находя общее решение для двух проблем, и экономически целесообразно.

1.2 Классификация пыли и микроорганизмов в птицеводческих помещениях

Из анализа литературы было установлено, что в птичниках концентрации пыли и микроорганизмов нередко превышают ПДК. Рассмотрим подробнее разновидности загрязнителей воздуха в данных помещениях.

Под общим понятием «пыль» подразумеваются дисперсные системы с газообразной дисперсной средой и твердой дисперсной фазой [13], сопротивление при их движении относительно среды подчиняется закону Стокса.

По мнению некоторых гигиенистов, пыль можно разделить на 2 категории: 1) витающую, или взвешенную, с размеров частиц до 10мкм, 2) оседающую с размером частиц более 10мкм. По происхождению все виды пыли, встречающиеся в производственных цехах, в том числе в птичниках, делятся на органическую и неорганическую. Органическую пыль разделяют на растительного и животного происхождения, неорганическую – на металлическую, минеральную и смешанную.

Из анализа литературы [77; 52] установлено, что в птичнике находятся пылевые частицы размером:

более 100 мкм - 9,7%

менее 100 мкм – 90,3% (более 80% менее 50 мкм)

Классификация пылевых частиц по размеру и по происхождению приведена на рисунке 1.4 [77].

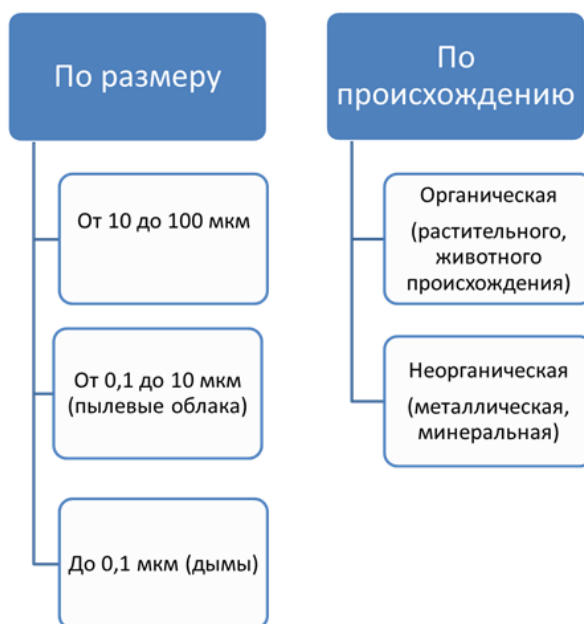


Рисунок 1.4 – Классификация пылевых частиц [77]

Как показали исследования [77], большое количество пыли с размеров менее 5 мкм поступает при раздаче корма (муки, отрубей, комбикорма), а также от высохшего помета, подстилки и от птицы в период линьки. Более крупная пыль (свыше 10 мкм) поступает во время уборки помета и подстилки и интенсивной линьки птицы при повышенной скорости движения воздуха (свыше 2,5 м/с), а также при использовании крышных вентиляторов в шахтах потолочных перекрытий; в этих случаях преобладают вертикальные потоки воздуха повышенной скорости и поднимают снизу пыль, состоящую из мелких и крупных частиц, и как следствие вместо снижения концентрации пыли наблюдается повышение ее в процессе вентиляции и некоторого времени спустя. Под действием гравитации пылевые частицы оседают, а при появлении воздушных потоков вновь поднимаются в воздух [31].

В исследованиях [24] состава пыли птицефабрик говорится, что пыль до 70% состоит из протеина, а также клетчатки, пуха, помета, микроорганизмов.

Таким образом, пыль в птичнике преимущественно органического происхождения размером менее 50 мкм, а частицы менее 1 мкм являются

носителями болезнетворных микроорганизмов. Параметры пылевых частиц в птичнике в зависимости от происхождения приведены в таблице 1.2 [103].

Таблица 1.2 – Параметры пылевых частиц [103]

Виды пылевых частиц	Диэлектрическая проницаемость (ϵ_1)	Удельное сопротивление (ρ , Ом*м)
зерновые	5-10	3-8
минеральная	3-5	2,5-3,5
животного происхождения	2,5-7	100

Для дальнейшего рассмотрения данного вопроса рассмотрим процесс обеспыливания частиц диаметром менее 1,0мкм, являющиеся наиболее опасными в птичниках, а также частиц различного происхождения, от минерального до животного происхождения.

Общеизвестно, что в помещениях, где наблюдается большая концентрация пыли, выше и бактерицидная загрязненность. По данным А.К. Скороходько [77], видовой состав микрофлоры воздуха определяется главным образом способностью бактерий переносить высушивание. Первое место по выживаемости в условиях воздуха помещений занимают пигментные бактерии, бактериальные споры, плесени, дрожжи, кормовая, водная микрофлора. Поэтому видовой состав бактерий в птицеводческих помещениях относится большей частью к банальным сапрофитным формам: коккам, плесеням и др. Наряду с этим встречаются и патогенные бактерии, особенно при заболеваниях птицы. В связи с этим вполне возможно и в практике хорошо известно заражение птицы аэрогенным путем через пылевые частицы и мельчайшие капельки воды. В пробах подстилки были обнаружены на различной глубине яйца аскаридий, гетеракиса, кокцидий, кормовые клещи, дрожжевые клетки.

И.Б. Игнатьев и В.В. Литовченко изучали влияние пыли и общей бактериальной обсемененности воздуха на развитие бройлеров, содержащихся на подстилке из лузги 8-10 см. В результате исследования и

типизации микрофлоры было выделено 180 культур. Из них наибольшее количество приходилось на долю кокковой микрофлоры (95 культур, 22 вида), затем на споровую грамотрицательную (15 культура, 7 видов), бактериальную грамотрицательную (41 культур, 4 вида), из последних 13 штампов оказались *Salmonella gallisepticum*. При посеве на среду Эндо получено 26 культур кишечной палочки, а на картофельный агар – 33 культуры грибов и дрожжей.

Микрофлора, выделенная с поверхностей и из глубины подстилки, оказалась идентичной. Такое же положение наблюдалось в пробах воздуха. Меньший видовой состав по микробам был в пыли, взятой со стен выше 50 см от пола. И.Б. Игнатъев и В.В. Литовченко установили прямую связь загрязненности воздуха с наличием микроорганизмов в подстилке. Повышение количества пыли и микроорганизмов в воздухе, хотя бы кратковременное, сопровождалось появлением заболеваний органов дыхания у птиц. В этих же исследованиях было установлено, что в подстилке находят благоприятные условия для развития яйца аскарид, кокцидий, свободноживущих нематоды, грибы. С возрастом птицы количество последних как в воздухе помещений, так и в выбрасываемом наружу увеличивается [77].

В связи с этим особое значение приобретает фильтрация воздуха птичников, которая должна обеспечить его очистку.

1.3 Анализ методов и средств обеспыливания и обеззараживания воздуха

Для очистки воздуха от загрязнений различного вида в помещениях сельскохозяйственного назначения используются как традиционные, так и специальные средства (таблица 1.5).

К традиционным относится сухая и влажная уборка помещений, которая является достаточно эффективной особенно в комплексе с другими профилактическими мероприятиями, но при этом этот метод уборки требует больших затрат ручного труда.

Наиболее простым способом является проветривание, открывание форточек и дверей. Но этот способ имеет существенные недостатки, а именно, большие затраты на отопление в холодный период времени года, а также негативное влияние на окружающую среду из-за выбросов болезнетворных микроорганизмов.

Для очистки от пыли и микроорганизмов используются следующие специальные способы: вентиляция помещений, фильтрация воздуха, дезинфекция воздуха химическими дезинфицирующими средствами, дезинфекция ультрафиолетовыми лучами, ионизация воздуха и т.д.

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 33мг/м^3 , превышая ПДК до 6 раз [69].

В помещениях с высокой запыленностью, систематически превышающей ПДК, необходимо использовать способы фильтрации воздуха на основе механических и электрических воздушных фильтров. Разновидности механических (пористых) фильтров и их недостатки приведены в работе [15].

Электрофильтры обеспечивают высокую степень обеспыливания и имеют низкое аэродинамическое сопротивление [31]. К недостаткам электрических фильтров относится низкая эффективность в борьбе с микроорганизмами, а также необходимость в обслуживании квалифицированным персоналом.

Широкое применение также получили химические средства дезинфекции. Эффективность воздействия химических средств зависит от концентрации их растворов, температуры и их экспозиции [46].

Дезинфекция аэрозолями эффективна в борьбе с вредоносными микроорганизмами, бактериями и вирусами, но проблему с очисткой воздуха от пыли не решает в связи с тем, что осевшая пыль остается в помещении.

При этом аэрозоли токсичны и применять их в присутствии человека, животных и птиц недопустимо.

Дезинфекция ультрафиолетовыми лучами также эффективна в борьбе с микроорганизмами, с запыленностью же воздуха этот способ не справляется и изменяет химический состав воздуха. При этом недопустимо использовать ультрафиолетовые лампы в присутствии человека, животных и птиц, поэтому данные лампы необходимо устанавливать в каналы вентиляции или специальных устройствах.

В настоящее время актуальным становится вопрос использования комбинированных установок, которые выполняют несколько функций, а именно обеспыливание и обеззараживание воздуха.

Комбинированные установки с аэрозольным распылением повышают влажность в помещении до 90%, что ограничивает их применение в помещениях для содержания птицы, где влажность должна находиться в пределах 60-70%.

В работе [3] предлагается применению устройства для ионизации и обеспыливания воздуха, при котором происходит ионизация запыленного воздуха за счет коронного разряда и его фильтрация через фильтрующие зернистые материалы, что дополнительно способствует улучшению параметров микроклимата производственных помещений, уменьшая при этом его бактериальную и пылевую загрязненность.

Установлено, что обработка помещений не только уменьшает концентрацию микроорганизмов, но и приводит к увеличению роста дополнительной массы птицы [27].

Результаты анализа методов обеспыливания и обеззараживания воздуха и их недостатков представлены в таблице 1.3 [72].

Таблица 1.3 – Анализ методов обеспыливания и обеззараживания воздуха и их недостатки [72]

Методы очистки воздуха	Недостатки
Традиционные	

Проветривание	Высокие затраты на отопление, негативное влияние на окружающую среду,
Влажная и сухая уборка	Большие трудозатраты
Специальные	
Вентилирование воздуха	Низкая эффективность обеззараживания и обеспыливания
Фильтрование воздуха	
механическое фильтрование	Небольшая пылеемкость, большое аэродинамическое сопротивление, сложность в регенерации
электрофильтрование	Низкая эффективность обеззараживания
Дезинфекция воздуха	
аэрозолями	Низкая эффективность обеспыливания, токсичность, повышение влажности
УФ-лучами	Низкая эффективность обеспыливания, изменение химического состава воздуха, использование в закрытом исполнении

В настоящее время особое внимание уделяется комбинированным установкам, которые совмещают несколько способов очистки воздуха в одном устройстве[83]. Это позволит добиться высокой эффективности очистки и устранить недостатки использования единичных способов.

Анализ методов и способов обеспыливания воздуха показал, что наиболее эффективным в этой области является способ электрофильтрации воздуха, а для обеззараживания – способ ультрафиолетового излучения воздуха. Эти установки рассмотрим более подробно.

В таблице 1.4 приведены результаты испытаний электрофильтров, предназначенных для обеспыливания воздуха сельскохозяйственных помещений.

Данный анализ показал, что ни одно исследование электрофильтров не проводилось в помещениях птичниках, в которых выделяется высокая запыленность. По данным [56; 58; 2; 69] концентрация пыли на

птицефабриках составляет до 33 мг/м^3 . Предельно-допустимые концентрации пыли в птичниках находятся от 2 мг/м^3 до 5 мг/м^3 зависимости от возраста птиц [52]. Это говорит о том, что на современном промышленном птицеводстве необходимо применять специальные устройства обеспыливания помещений для поддержания зоогигиенических показателей в норме.

Комбинированный рециркулятор [28] за счет ультрафиолетового излучения эффективно обеззараживает воздух, за счет аэрозольного распыления обеспыливает воздух, при этом за 1 час работы увлажняет воздух до 90%. Влажность воздуха в птичниках должна находиться в пределах 60-70%, что говорит о ограниченном использовании рециркулятора в птичниках.

Сравнение данных таблицы 1.4 показало, что в качестве очистки от пыли в сельскохозяйственных помещениях успешно могут применяться электрофильтры как высокопроизводительные, высокоэффективные и энергосберегающие установки для фильтрации и обеззараживания воздуха.

Таблица 1.4 – Сравнение установок для обеспыливания воздуха в сельскохозяйственных помещениях [37; 34; 20; 79; 31; 29; 77; 69; 28]

Исследователи	Эффективность обеспыливания или концентрация пылевых частиц, (отн. ед. или мг/м^3)	Условия проведения испытаний	Исполнение технического средства для обеспыливания
Кирпичнико в И.В.[37]	0,78	Непрерывно в малообъемной помещении для персонала	Электростатический фильтр без зоны искусственной зарядки частиц с осадительными пластинами, выполненными из диэлектрических материалов
Илимбетов Р.Ю.[32]	0,7	6 ч. в испытательной лаборатории по определению качества семенного материала	Электростатический фильтр с замасленными основными и нейтральными осадительными пластинами
Возмилов А.Г. и др.[20]	0,35 (опыт- $22,9 \text{ мг/м}^3$, контроль – $30,9 \text{ мг/м}^3$)	Непрерывно в свинарнике	Мокрый электрофильтр
Андреев Л.Н.[79]	0,47-0,99	На входе, после 1 ступени, после 2 ступени электрофильтра	Двухступенчатый мокрый электрофильтр

		в лабораторном помещении	
Звездакова О.В.[31]	0,99	Непрерывно в колбасном цехе (замеры производились на входе и на выходе электрофильтра)	Усовершенствованный двухзонный электрофильтр с наличием на входе и на выходе зоны зарядки металлических сеток
Еськова С.М.[29]	0,6-0,94	Непрерывно в лабораторном помещении	Электрофильтр с повышенной объемной скоростью (скорость вентилятора от 1,5 м/с до 4 м/с не подходит для птичников)
Селянский В.М., Савинова М.С.[77; 69]	до 33 мг/м ³	Непрерывно в птичниках	Системы вентиляции
Довлатов И.М.[28]	0,95	1 ч. в камерном боксе (повышается влажность до 90% - недопустимый режим в птичнике)	Комбинированный рециркулятор

В птицеводческих уделяется большое внимание использованию ультрафиолетового излучения для обеззараживания воздуха [95].

На практике в птицеводческих помещениях для борьбы с микроорганизмами, снижения заболеваний птиц и увеличении их сохранности применяются установки, в основе которых лежит действие ультрафиолетового излучения.

Эффективность обеззараживания установок на основе ультрафиолетового излучения в птичниках достигает 0,73, в комбинированных установках с применением аэрозольного распыления – до 0,874, но при этом повышается влажность в помещении до 90% (таблица 1.5)

Таблица 1.5 – Сравнение установок для обеззараживания воздуха в птицеводческих помещениях [2; 62; 63; 51; 95; 96; 6; 28]

Исполнение технического средства для обеспыливания (исследователи)	Эффективность обеззараживания или количество микробных тел, (мг/м ³ или отн. ед.)	Условия проведения испытаний
Системы вентиляции (Майорова Т.Л.) [2]	3-551 тыс. микр. т.	Непрерывно
Облучатель открытого исполнения (Прокопенко А.А.) [62; 63]	0,615	1,5 ч. в сутки
Облучатель закрытого исполнения (Мелюков А.Н.) [51]	0,607	по 3 ч. в сутки
Облучение воздуха открытыми	0,73	три экспозиции 1, 2 и 3 ч

бактерицидными лампами в отсутствие людей (Юферев Л.Ю.) [95]		
Облучатель– рециркулятор закрытого типа (Алферова Л.К.) [96; 6]	0,728	1 ч. в сутки
Комбинированный рециркулятор (Довлатов И.М.) [28]	0,874	по 1 ч. в день с перерывами по 2ч. в виварии (влажность до 90% - недопустимый режим в птичнике)

Основным недостатком таких бактерицидных установок является то, что бактерицидный поток ламп падает в условиях сильной запыленности, которая присутствует в птичниках. Поэтому актуальной задачей является повышение эффективности обеззараживающего действия электрофильтра добавлением бактерицидной зоны на основе ультрафиолетового излучения после зоны осаждения [72].

Конструкции электрофильтром имеют широкую классификацию. Подробный анализ конструкций электрофильтров приведен в работе [89], который показал, что двухзонные электрофильтры успешно применяются для очистки вентиляционного воздуха.

Сравнительный анализ [72] технических параметров установок по обеспыливанию воздуха сельскохозяйственных помещений показал, что эффективность электрофильтров по обеззараживанию воздушной среды сельскохозяйственных помещений не достигает 70%, при этом в птичниках они не испытывались.

При возникновении коронного разряда в электрофильтре выделяется озон, который в высокой концентрации негативно сказывается на организме человека, птицы, микроорганизмов, приводит к коррозии оборудования.

Современные электрофильтры в основном работают на положительной короне с целью уменьшения выделения озона [62; 69; 70]. В таком случае при работе электрофильтра воздух насыщается положительными ионами [29]. Известно, что ионы с положительным зарядом замедляют рост и развитие живых организмов [29;77]. Также в работе по исследованию влияния полярности коронного разряда на работу электрофильтра [86] пробитие межэлектродного пространства получилось при напряжении 22,5 киловольт с

помощью отрицательной полярности коронного разряда и при положительной полярности коронного разряда пробивное напряжение межэлектродного пространства равнялось 19 киловольтам. Из этого следует, что положительная корона более склонна к пробоям [87].

Из данного анализа следует, что в птицеводческих помещениях целесообразно применять для очистки воздуха многозонные электрофилтры, работающие на отрицательной короне и дополненные зоной бактерицидного облучения и озоноразрушающей зоной.

1.4 Очистка воздуха озоном от вредных газовых составляющих и действие озона на живые организмы

Как уже было сказано выше, при работе электрофилтра выделяется озон, который известен своим окислительными свойствами. У озона имеется ярко выраженное дезинфицирующее свойство – он убивает бактерии и плесень [53]. Озон не загрязняет окружающую среду, так как не образует канцерогенных соединений [54; 88].

Электрический (в т.ч. коронный) разряд является естественным источником озона. В работе [31] по совершенствованию двухзонного электрофилтра проведены исследования озона в зависимости от параметров электрофилтра. Установлено, что при положительном коронном разряде с игольчатыми электродами концентрация озона свыше $0,4 \text{ мг/м}^3$, что говорит об эффективности уничтожения бактерий, превышении ПДК в 4 раза и негативном влиянии на организм человека и птицы.

Рассмотрим основные вредные газы, которые возникают в птичнике, их роль на организм птицы и возможность их разрушения при помощи озона.

Аммиак – бесцветный газ с резким запахом. Источником поступления аммиака в птичники является конечный продукт разложение помета, подстилки, кормов и т.п. [77]. При концентрации аммиака в воздухе выше 50 мг/м^3 снижается потребление корма, развивается конъюнктивит и, как следствие, замедляется рост птицы [77].

Сероводород – бесцветный токсичный газ с запахом тухлых яиц. Даже в небольшой концентрации вызывает головокружение, сердцебиение, тошноту. Действует на слизистую оболочку органов зрения и дыхания, на кожу, вызывая их раздражение.

Г. Петков зарегистрировал в птичниках без вентиляции концентрацию сероводорода в воздухе, равную 0,08 мг/л [77].

Таким образом, для снижения вредного воздействия на организм птицы вредных газов, необходимо следить за концентрацией газов и при необходимости ее снижать.

Под воздействием озона на загрязненный воздух птицеводческих помещений аммиак, сероводород, метан, углекислота и меркаптанаты переходят в сульфат аммония, углеммиакаты, аммиачную селитру и кислород [56].

Но озон губительно действует не только на вредные газы и болезнетворные микроорганизмы. При превышении ПДК озон вредно влияет также на организм животных, птиц и человека.

При воздействии озона на разные виды животных общим является раздражение слизистых оболочек, слезотечение, поражение ткани лёгких [56].

Ухудшение здоровья животных и птиц неизбежно ведет к уменьшению производительности птицеводческой продукции и падежу птиц. При этом создается опасность здоровью рабочего персонала, а также окружающей среде.

Таким образом, можно сделать вывод, что содержание озона в воздушной среде птицеводческих и других помещениях, где присутствуют человек и животные, недопустимо. Поэтому необходимо контролировать содержание озона в помещении с работающим электрофильтром, а также отслеживать выбросы отработанных газов предприятий на предельно-допустимые концентрации вредных веществ.

В облучательных электроустановках с выделением озона целесообразно на выходе установить озоноразрушающие лампы типа ДРТ. В коротковолновой ультрафиолетовой области спектра данных ламп лежит наиболее интенсивная полоса поглощения озона Хартли (200-320 нм) при которой происходит поглощение озона. Максимум поглощения озона в полосе Хартли соответствует 255 нм [95].

Применение озоноразрушающих ламп позволит устранить проблему выделения озона при коронном разряде, а также дополнительно усилит эффективность обеззараживания воздуха.

1.5 Выводы по главе, цель и задачи исследования

1. Из анализа литературы, установлено, концентрации пылевых частиц и микроорганизмов в птичниках с классической системой микроклимата при некоторых технологических процессах превышают ПДК, это ведет к увеличению заболеваний птицы до 25% и увеличению падежа до 10%.

2. Электрофильтры являются эффективными установками в борьбе с пылью, частично с микроорганизмами и газами. При этом электрофильтры не предназначены для применения в птичниках, где выделяется высокая запыленность среди сельскохозяйственных помещений.

3. Установки, в основу действия которых положено ультрафиолетовое излучение, имеют эффективность обеззараживания воздуха птичников до 73%, но при высокой запыленности бактерицидный поток ламп снижается до 41%.

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

5. Использование комбинации методов электрофильтрации и ультрафиолетового излучения в одной установке позволит устранить

известные недостатки каждого метода и повысить эффективность очистки воздуха.

Подводя итог вышеизложенному, сформулируем цель и задачи исследования.

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

Задачи исследования:

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.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

На основе рассмотренных в 1 главе методов, средств и установок для обеззараживания и обеспыливания воздуха были принято решение о разработке комбинированной установки на основе электрофильтра, которое будет состоять из нескольких зон [97; 93]:

- 1) зона ионизации или электрической зарядки частиц пыли;
- 2) зона осаждения;
- 3) зона бактерицидного облучения;
- 4) озоноразрушающая зона.

Процессы, происходящие при обеспыливании и обеззараживании воздуха в разрабатываемой установке, представлены на рисунке 2.1.

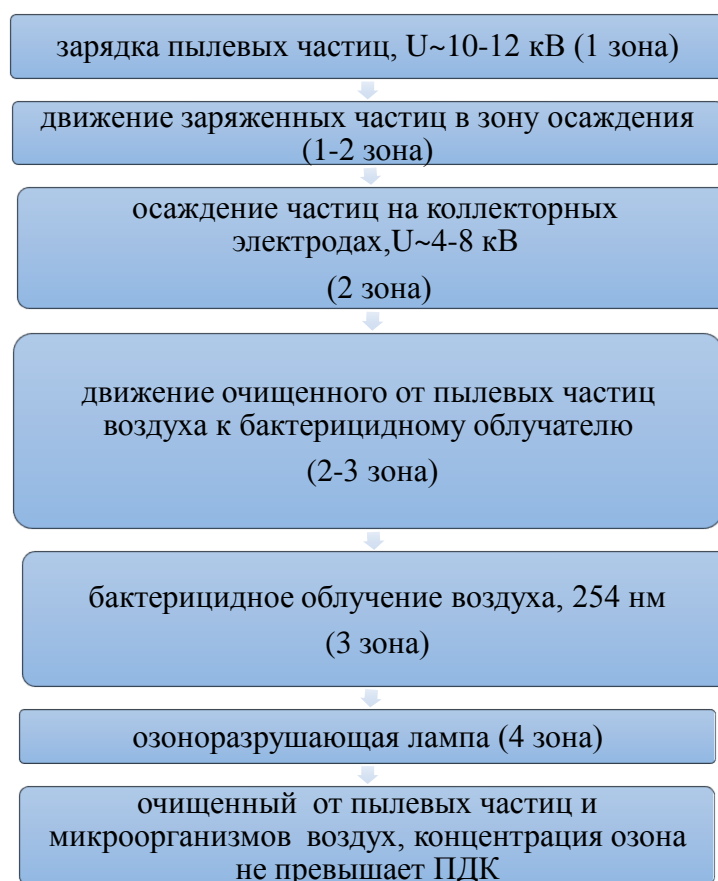


Рисунок 2.1 – Процессы, происходящие при обеспыливании и обеззараживании воздуха на основе электрофилтрации

В предложенном электрофилтре зарядка и осаждение частиц пыли производится в двух последовательных конструктивных зонах – ионизаторе (I) и осадителе (II), а в третьей зоне (III), включающей бактерицидный облучатель, происходит очистка от микроорганизмов [93].

2.1 Анализ процесса обеспыливания в комбинированной электроустановке

Процесс обеспыливания воздуха в электрофилтре осуществляется следующим образом. В зоне ионизации происходит зарядка частиц за счет возникновения коронного разряда. В области ионизации (рисунок 2.2 [34]) интенсивность генерации свободных электронов путём столкновений с молекулами воздуха превышает интенсивность рекомбинации с ионами и захвата электронов нейтральными молекулами.

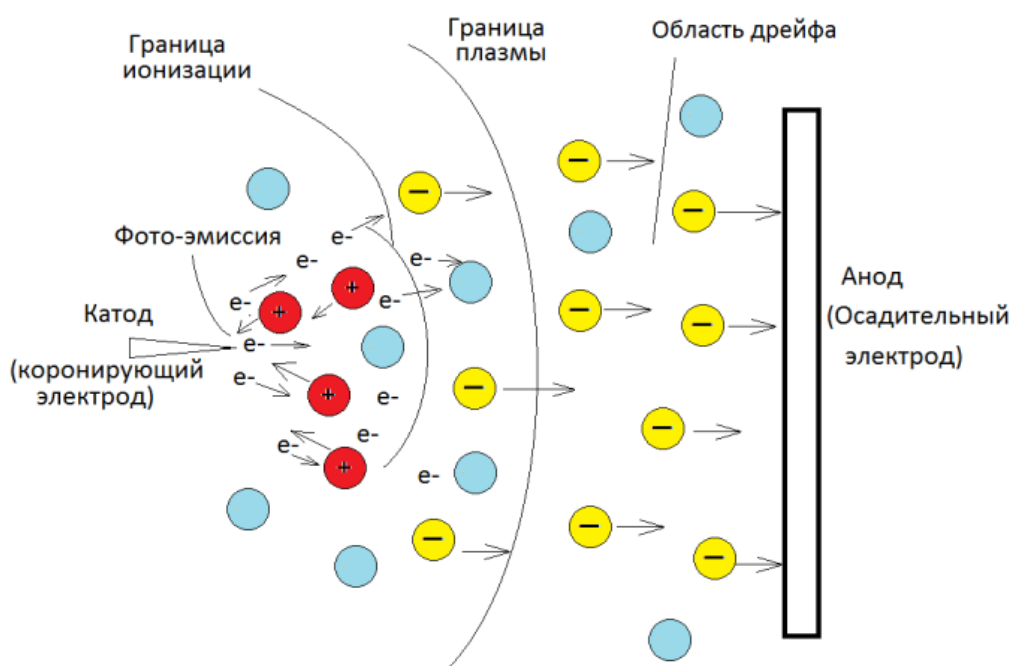


Рисунок 2.2 – Коронный разряд [34]

В районе границы области ионизации эти процессы уравнивают друг друга. Однако, и за границей области ионизации электроны сталкиваются с нейтральными молекулами. Эти столкновения приводят к

образованию химических реакций. Именно благодаря этим реакциям происходит интенсивная генерация озона и других газов, как, например, окислов азота. Отрицательная корона проявляется в виде нестабильных пучкообразных разрядов, перемещающихся вдоль поверхности электрода (рисунок 2.2) [34].

Определяющими силами, влияющими на движение частицы пыли в электрофильтре, является кулоновская сила и сила, обусловленная неравномерностью распределения напряженности электрического поля. Для того, чтобы генерировать достаточное количество носителей заряда, необходимо иметь на электрофильтре, по возможности, максимально высокое напряжение при достаточной величине тока. С этой целью напряжение на фильтре поддерживают в области напряжения пробоя [45].

Существуют различные теории для описания процесса заряда нейтральных частиц (включая пыль, микробы и вирусы) при наличии коронирующего разряда. Все они сходятся на том, что частицы, дрейфующие в зоне свободных ионов, сталкиваются с этими ионами и получают, таким образом, электрический заряд. Заряженные частицы могут принимать на себя множество ионов, учитывая, что их размер на несколько порядков превышает размер иона. Однако, по мере возрастания заряда, накопленного частицей, возрастает сила противодействия одноимённым зарядам. По достижении некоторого критического количества захваченных частицей ионов, ионы в её окрестности будут скорее отталкиваться от неё, чем притягиваться. Это критическое количество называется зарядом насыщения и зависит от размера частиц, в первую очередь, а также от относительной диэлектрической проницаемости их материала

Очевидно, что частицы, получившие большее количество единичных зарядов, будут сильнее притягиваться к противоположно заряженному (осадительному) электроду. Это облегчает фильтрацию крупных частиц, имеющих средний размер, превышающий 1-2 мкм. В то же время, фильтрация мелких и ультрамелких частиц (20-100 нм) представляет

значительные трудности. Большинство вирусов имеет средний размер от 20 до 70 нм.

Поэтому важной задачей применения электрофильтрации в птичниках является рассмотрение вопроса эффективности обеспыливания частиц 1 мкм и менее.

Для обеззараживания воздуха в предлагаемой установке используется бактерицидная лампа (зона бактерицидного облучения).

Бактерицидное действие оказывает жесткий ультрафиолет – UVC, и в меньшей степени ультрафиолет средней жесткости – UVB. Явное бактерицидное действие оказывает только узкий диапазон 230...300 нм, то есть примерно четверть от диапазона, называемого ультрафиолетом.

Для разрушения озона, выделяемого при коронном разряде, предусмотрена озоноразрушающая зона с лампой типа ДРТ. В коротковолновой ультрафиолетовой области спектра данной лампы лежит наиболее интенсивная полоса поглощения озона Хартли (200-320 нм) при которой происходит поглощение озона. Максимум поглощения озона в полосе Хартли соответствует 255 нм [95].

2.1.1 Теоретические исследования движения частиц пыли в электрофильтре

Процесс очистки воздуха от пыли осуществляется путем зарядки и улавливания частиц пыли в двух зонах: ионизаторе и осадителе (рисунок 2.3). 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 электрода [34]. 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. ЭФ

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

Можно отметить два направления исследования движения аэрозольных частиц в зонах ионизации и осаждения: «детерминированный» и «вероятностный». В первом случае заряженная частица представляется сферой и определяется ее дрейф между электродами в зоне осаждения при действии на частицу механических и электрических сил [37; 85; 61; 4]. Во втором случае наряду с динамической рассматривается вероятностная модель движения частицы, в которой учитываются соударения частиц между собой [48]. Вероятностная модель эффективна при моделировании турбулентных потоков. Однако, можно считать, что аэрозольные частицы практически не сталкиваются между собой, если вентилятор ЭФ обеспечивает ламинарный воздушный поток [10]. Поэтому при постановке задачи соударения заряженных частиц пыли между собой принято не рассматривать. Ввиду неопределенности начального положения и размера частицы в момент входа в зону ионизации начальное положение и размер частицы рассматривались как независимые случайные величины. Таким образом, задача о движении заряженной частицы пыли заданного размера между электродами двузонного ЭФ представляет вторую задачу динамики точки со случайными начальными условиями. Предполагалось, что при входе в зону ионизации положение частицы между электродами (расстояние от пластины коллекторного электрода до частицы) подчиняется равномерному закону распределения. При этом эффективность обеспыливания определялась по статистике решений второй задачи динамики точки, в которых траектория частицы пересекает пластину коллекторного электрода.

Приняты следующие допущения:

- 1) частица пыли – твердое тело сферической формы;
- 2) скорость частицы воздушного потока в каждой точке проходного сечения между электродами постоянна и направлена перпендикулярно

проволочным коронирующим электродам и параллельно пластинам коллекторных электродов;

3) влиянием веса частицы пыли на движение ее в воздушном потоке можно пренебречь [96];

4) движением заряженной частицы в направлении, параллельном пластинам электродов и перпендикулярном направлению потока воздуха, можно пренебречь;

5) влиянием электрического ветра коронирующего разряда на эффективность ЭФ можно пренебречь [66; 38].

6) Расстояние, определяющее положение частицы пыли, осевшей на электроды, от коронирующего электрода при входе в зону ионизации будет соответствовать координате уловленной пыли и обозначаться y_0 .

Обозначения (рис. 2.3)

t – время, с;

$Oxyz$ – прямоугольная система декартовых координат с осью Ox , проходящей через конец коронирующего электрода и направленной перпендикулярно коронирующим электродам и параллельно пластинам коллекторных электродов, осью Oy , перпендикулярной пластинам коллекторных электродов, и осью Oz , параллельной коронирующим электродам;

x, y – координаты частицы пыли (центра масс пылинки), м;

y_0 – координата частицы пыли по оси Oy при входе в секцию зоны ионизации, м;

L_1, L_2 – длина коллекторной пластины в зоне ионизации и зоне осаждения соответственно, м;

x_c – расстояние между осью Oz и коронирующим электродом ($x_c = L_1/2$), м;

h – высота коронирующего электрода и пластин коллекторных электродов, м;

a_1 – расстояние между коронирующим и коллекторным электродами в зоне ионизации, м;

a_2 – расстояние между электродом под напряжением и коллекторным электродом в зоне осаждения, м;

D – диаметр сферической частицы пыли, м;

n_b – число частиц пыли диаметром D ;

n_L – число зон осаждения;

v – величина скорости воздушного потока, м/с;

v_a, v_{ax}, v_{ay} – величина и соответственно координаты по осям Ox, Oy скорости частицы воздушного потока, м/с;

v_x, v_y – координаты по осям Ox, Oy скорости частицы пыли, м/с;

q – заряд частицы пыли, Кл;

q_k – заряд коронирующего электрода, Кл;

q_c – заряд пластины электрода в зоне осаждения, Кл;

R – радиус цилиндрического провода коронирующего электрода, м;

e – элементарный заряд, $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл;

T_θ – температура воздуха по абсолютной шкале Кельвина, $T_\theta = 293$ К;

k – постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

N_0 – средняя концентрация ионов в воздухе, $N_0 = 5 \cdot 10^{14}$ 1/м³;

v_C – среднеквадратическая скорость ионов, $v_C = 239$ м/с [10, с. 145];

v_Z – подвижность ионов воздуха, $v_Z = 1,4 \cdot 10^{-4}$ (м/с)/(В/м) [10, с. 149];

E_i, E_{ix}, E_{iy} – величина и соответственно координаты по осям Ox, Oy вектора напряженности электрического поля, В/м;

U_K – потенциал коронирующего электрода, В;

U_c – потенциал пластины электрода под напряжением в зоне осаждения, В;

E_K – максимальная напряженность в зоне ионизации, В/м;

E_C – средняя напряженность в зоне ионизации, В/м;

c_D – коэффициент сопротивления;

C_C – коэффициент Милликена;

μ – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па·с;

ρ_a – плотность воздуха, $\rho_a = 1,2$ кг/м³;

ρ – плотность частицы пыли, $\rho = 1000$ кг/м³;

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

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость частицы пыли, $\epsilon = 3$;

F_{sx}, F_{sy} – координаты по осям Ox, Oy силы Стокса, действующей на частицу пыли со стороны воздушного потока, Н;

F_{kx}, F_{ky} – координаты по осям Ox, Oy силы Кулона, действующей на заряженную частицу пыли, Н;

Q_b – производительность вентилятора электрофильтра, м³/с;

P_D – показатель обеспыливания воздуха при однократном проходе через электрофильтр;

P_D – показатель обеспыливания воздуха при однократном проходе через электрофильтр;

P_{DT} – показатель обеспыливания воздуха при многократном проходе через электрофильтр;

T, T_1 – время работы электрофильтра и время, за которое через электрофильтр проходит воздух в помещении некоторого объема, с.

Известно, что между силой, действующей на частицу F , Н, и гидродинамическим давлением на нее со стороны жидкости (газа) при направленном движении частицы и газа имеет место такая связь [10]:

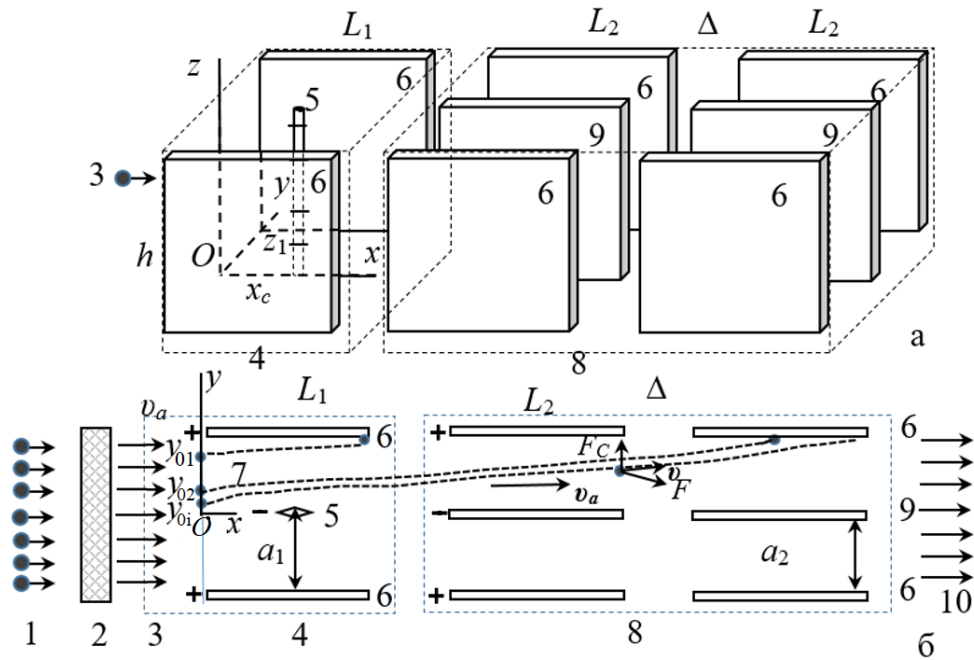
$$F = c_D \rho (v_a - v)^2 \pi D^2 / 8. \quad (2.1)$$

Коэффициент сопротивления c_D в данной формуле зависит от числа Рейнольдса Re [10]:

$$Re = (v_a - v) \rho D / \mu. \quad (2.2)$$

В диапазоне $Re < 0,2$ сила, действующая на частицу со стороны газа, существенно зависит от вязкости газа, и формула записывается как закон Стокса:

$$F = 3\pi\mu D(v_a - v). \quad (2.3)$$



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

Рисунок 2.3 – Электростатический фильтр (а) и движение частиц пыли между электродами в секции зоны ионизации и секциях двух зон осаждения (б)

Когда размеры частиц становятся соизмеримыми с размерами молекул газа, эффект вязкости, лежащий в основе закона Стокса, снижается. Для сферических частиц пыли диаметром D не более 1 мкм закон Стокса записывается с поправкой Каннингема [81]:

$$\begin{cases} F_{Sx} = \frac{3\mu\pi D(v_{ax} - \frac{dx}{dt})}{C_c}, \\ F_{Sy} = \frac{3\mu\pi D(v_{ay} - \frac{dy}{dt})}{C_c}, \end{cases} \quad (2.4)$$

где C_c – коэффициент Милликена, определяемый при средней длине свободного пробега молекул воздушного потока, равной 0,07 мкм и измерении D в мкм, по формуле:

$$C_c = 1 + \frac{0,14}{D} [1,257 + 0,4 \exp(-7,857D)]. \quad (2.5)$$

В том случае, когда движения частицы и воздушного потока не однонаправленны, величины v_a , v , F в формуле (2.4) следует рассматривать как векторы.

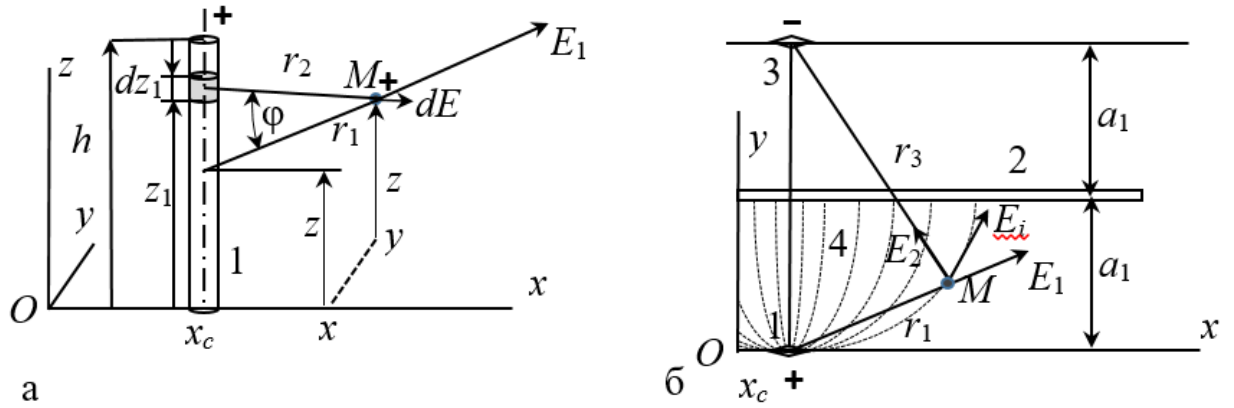
Выделим две фазы движения заряженной частицы. На первой фазе будем рассматривать движение частицы в секции зоны ионизации между проволочным коронирующим электродом и пластиной коллекторного электрода. На второй фазе – движение в секции зоны осаждения между пластиной отталкивающего электрода под напряжением положительной полярности и пластиной заземленного коллекторного электрода.

2.1.2 Расчет напряженностей электрического поля, потенциала и заряда коронирующего электрода

Найдем силы, приложенные к частице в точке M с координатами x , y в секции ионизатора (рис. 2.4).

В соответствии с допущением 4 будем считать, что проекции сил на ось Oz можно не рассматривать.

Поместим в точку M пробный положительный единичный заряд. Пусть r_1 – расстояние от точки M до коронирующего электрода, м; r_2 – расстояние от точки M до элемента коронирующего электрода элементарной длины dz_1 на расстоянии z_1 от плоскости Oxy , м; dE – элементарная напряженность в точке M электрического поля заряда элемента коронирующего электрода, В/м; E_1 – величина проекции вектора напряженности электрического поля в точке M , создаваемого одиночным коронирующим электродом, на плоскость Oxy (рис. 2.4 а), В/м.



1 – коронирующий проволочный электрод с положительным зарядом;
 2 – пластина коллекторного электрода; 3 – фиктивный проволочный электрод
 с отрицательным зарядом; 4 – силовые линии электрического поля

Рисунок 2.4 – К расчету напряженности электрического поля от
 коронирующего электрода (а) и между коронирующим электродом и
 пластиной коллекторного электрода (б)

По определению [5],

$$r_1 = [(x - x_c)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}}; \quad (2.6)$$

$$r_2^2 = r_1^2 + (z_1 - z)^2; \quad (2.7)$$

$$dE = (q_k/h) dz_1 / (4\pi\epsilon_0 r_2^2); \quad (2.8)$$

$$E_1 = \int_0^h \frac{r_1}{r_2} dE = \frac{q_k r_1}{4\pi\epsilon_0 h} \int_0^h \frac{1}{r_2^3} dz_1. \quad (2.9)$$

Отсюда найдем:

$$E_1 = \frac{q_k}{4\pi\epsilon_0 h r_1} \left\{ z(z^2 + r_1^2)^{-\frac{1}{2}} + (h - z)[(h - z)^2 + r_1^2]^{-\frac{1}{2}} \right\}.$$

В соответствии с допущением 4 будем рассматривать среднюю по
 координате z напряженность как функцию от x, y

$$E_1 = \frac{q_k}{4\pi\epsilon_0 h r_1} \frac{1}{h} \int_0^h \left\{ z(z^2 + r_1^2)^{-\frac{1}{2}} + (h - z)[(h - z)^2 + r_1^2]^{-\frac{1}{2}} \right\} dz$$

или

$$E_1 = \frac{q_k}{4\pi\epsilon_0 h r_1} \frac{2(h^2 + r_1^2)^{\frac{1}{2}} - 2r_1}{h} \quad (2.10)$$

В электрическом поле заряда коронирующего электрода на заземленной пластине коллекторного электрода индуцируется отрицательный заряд. Для учета электрического поля индуцированного заряда воспользуемся методом зеркальных отображений [5]: к полю заряда коронирующего электрода добавляется поле «фиктивного» коронирующего электрода с равным по величине отрицательным зарядом, расположенного симметрично относительно пластины коллекторного электрода (рис. 2.4, б). Величину напряженности E_2 в точке M поля, создаваемого зарядом «фиктивного» электрода, можно определить по формуле (2.10) с изменением величины r_1 :

$$E_2 = \frac{q_k}{4\pi\epsilon_0 h r_3} \frac{2(h^2 + r_3^2)^{\frac{1}{2}} - 2r_3}{h}, \quad (2.11)$$

где r_3 – расстояние от точки M до фиктивного коронирующего электрода, м.

$$r_3 = [(x - x_c)^2 + (2a_1 - y)^2]^{\frac{1}{2}}. \quad (2.12)$$

Координаты вектора напряженности электрического поля в точке M ионизатора по осям Ox , Oy найдем как суммы соответствующих координат напряженностей величиной E_1 и E_2 :

$$E_{ix} = E_{1x} + E_{2x}; E_{iy} = E_{1y} + E_{2y}, \quad (2.13)$$

где $E_{1x} = E_1(x - x_c)r_1^{-1}$;

$$E_{1y} = E_1 y r_1^{-1};$$

$$E_{2x} = -E_2(x - x_c)r_3^{-1};$$

$$E_{2y} = E_2(2a_1 - y)r_3^{-1}.$$

Можно убедиться, что поле напряженности в плоскости Oxy и параллельных плоскостях потенциальное.

Найдем заряд q_k коронирующего электрода для расчета напряженности его электрического поля по формуле (2.13). Заряд распределен равномерно по поверхности электрода, включая боковые иглы. Рассмотрим силовую линию (отрезок) поля, перпендикулярную заземленной пластине, с одним концом на проводе с координатами x_c , R и вторым концом на пластине с

координатами x_C , $R + a_1$ по осям Ox , Oy . Как следует из формулы (6), координаты напряженности поля по оси Ox в точках этой линии равны нулю:

$$E_{1x} = E_{2x} = 0.$$

Потенциалы поля в концевых точках линии равны соответственно U_K и 0. По определению,

$$0 - U_K = - \int_R^{a_1} (E_{1y} + E_{2y}) dy$$

или с учетом равенств (4), (5) и (3), (6) при $x = x_C$

$$U_K = \frac{q_k}{2\pi\epsilon_0 h^2} \int_R^{a_1} \left(\frac{(h^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} - y}{y} + \frac{(h^2 + (2a_1 - y)^2)^{\frac{1}{2}} - (2a_1 - y)}{2a_1 - y} \right) dy.$$

По условиям, $y < a_1 \ll h$ и, пренебрегая y и $(2a_1 - y)$ в сравнении с h , представим последнее равенство в таком виде:

$$U_K = \frac{q_k}{2\pi\epsilon_0 h} \ln \frac{2a_1 - R}{R}. \quad (2.14)$$

Таким образом, если потенциал и радиус R провода коронирующего электрода заданы, заряд коронирующего электрода можно оценить по формуле

$$q_k = U_K 2\pi\epsilon_0 h / \ln \frac{2a_1 - R}{R}. \quad (2.15)$$

Пусть на границе коронирующего электрода, где $x = x_C$, $y = R$, $r_1 = R$, $r_3 \approx 2a_1$, напряженность E_i известна и равна E_K . Тогда из равенств (2.13) и (2.6)–(2.12) следует, что $E_{1x} = E_{2x} = 0$; $E_{1y} = E_1$; $E_{2y} = E_2$. При этом $E_K = E_1 + E_2$

или, учитывая равенство (2.15),

$$E_K = U_K \left\{ \frac{(h^2 + R^2)^{\frac{1}{2}} - R}{R} + \frac{[h^2 + (2a_1 - R)^2]^{\frac{1}{2}} - 2a_1 + R}{2a_1 - R} \right\} / \left(h \ln \frac{2a_1 - R}{R} \right) \quad (2.16)$$

и приближенно

$$E_K = U_K / \left(R \ln \frac{2a_1 - R}{R} \right).$$

Координаты силы Кулона, действующей на заряженную частицу, прямо пропорциональны координатам напряженности электрического поля и заряду частицы пыли:

$$F_{kx} = qE_{ix}; F_{ky} = qE_{iy}. \quad (2.17)$$

Как следует из выражений (2.17), для определения силы Кулона необходимо оценить заряд частицы пыли в электростатическом поле коронного разряда. Рассмотрим частицы пыли, размеры которых варьируют от 0,1 мкм до 1 мкм. Зарядка частиц осуществляется при их соударениях с ионами, образуемыми при коронном разряде [10; 65; 11]. Частицы размером 1 мкм и выше соударяются с ионами, движущимися упорядоченно под действием кулоновской силы. Частицы размером 0,2 мкм и ниже соударяются с ионами, движущимися хаотично в процессе теплового движения. При рассмотрении частиц в диапазоне от 0,2 мкм до 1 мкм необходимо учитывать оба способа движения ионов. Заряд частицы при диффузионной зарядке ионами, движущимися хаотично, при относительной диэлектрической проницаемости воздуха, равной единице, определяется по формуле [65; 23]:

$$q = 2\pi\epsilon_0 \frac{DkT_B}{e} \ln \left(1 + \frac{Dv_c N_0 e^2}{8\epsilon_0 kT_B} t \right). \quad (2.18)$$

Заряд частицы пыли униполярными ионами воздуха, движущимися упорядоченно в электростатическом поле, определяется по формуле [81; 15]:

$$q = 3\pi\epsilon_0 \frac{\epsilon}{\epsilon+2} E_c D^2 \frac{N_0 e v_z t}{N_0 e v_z t + 4\epsilon_0}. \quad (2.19)$$

В соответствии с формулой заряд частицы возрастает до некоторой предельной величины. При этом частица получит 95% максимального заряда за время 0.03 с и 90% – за время 0.013 с. Это означает, что при скорости воздушного потока до 0,92 м/с частица пыли получит 90% максимального заряда и более при длине зоны ионизации 12 мм. Формула (2.19) справедлива для электрического поля постоянной напряженности. Примем, что такой напряженностью можно считать среднюю напряженность электрического поля на участке ионизатора длиной L_1 , равной 12 мм. При увеличении длины пластин ионизатора напряженность на участке длиной 12 мм при расположении коронирующего электрода в центре участка остается без

изменений, так как в соответствии с формулами (2.13) напряженность не зависит от L_1 .

По определению, величина напряженности электрического поля в некоторой точке зоны ионизации представляется функцией координат x, y, z точки. Средняя напряженность E_c , по определению, есть некоторая средняя величина напряженностей в точках траектории частицы за время ее движения в зоне ионизации. Очевидно, чем дальше от коронирующего электрода движется частица, тем меньше величины напряженности в точках ее траектории. Усредненная по координате z величина напряженности в точках секции зоны ионизации с координатами x, y зависит от координат и определяется с помощью формул (2.13). Чтобы найти постоянную величину напряженности, пригодную для использования в формуле (2.19), положим, что изменение координаты y частицы после входа в зону ионизации влияет незначительно на усредненную по координате x величину напряженности. Таким образом, при заданной координате y точки входа частицы в секцию зоны ионизации величину средней напряженности E_c , остающуюся постоянной за время движения частицы в этой зоне, можно найти так:

$$E_c = (E_{cx}^2 + E_{cy}^2)^{1/2}, \quad (2.20)$$

где E_{cx}, E_{cy} вычисляются как усредненные по координате x величины E_{ix}, E_{iy} , определенные по формулам (2.13), а именно

$$E_{cx} = \frac{2}{L_1} \int_0^{L_1/2} (E_{1x} + E_{2x}) dx; \quad E_{cy} = \frac{2}{L_1} \int_0^{L_1/2} (E_{1y} + E_{2y}) dx$$

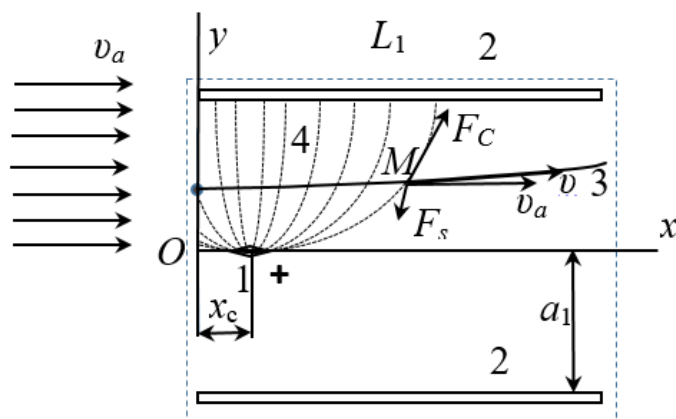
или при $u = (2a_1 - y); y > R; L_1 = 0.012$ м и допущении $r_1 \ll h; r_3 \ll h$

$$E_{cx} = \frac{q_k}{2\pi\epsilon_0 h L_1} \ln \frac{y^2(L_1^2/4 + u^2)}{u^2(L_1^2/4 + y^2)}; \quad E_{cy} = \frac{q_k}{\pi\epsilon_0 h L_1} \left(\arctan \frac{L_1}{2y} + \arctan \frac{L_1}{2u} \right). \quad (2.21)$$

При выводе формул (2.21) полагалось, что коронирующий электрод помещен в середину зоны ($x_c = L_1/2$), и напряженность электрического поля между коронирующим электродом и ближайшей заземленной пластиной симметрична относительно плоскости $x = L_1/2$.

2.1.3 Движение частицы в секции зоны ионизации

В соответствии с допущениями 3, 4, 5 на частицу пыли действуют две значимые силы: активная сила Кулона (равнодействующая сил Кулона), направленная вдоль силовых линий электрического поля, и реактивная сила Стокса, направленная противоположно скорости частицы в движении относительно воздушного потока (рис. 2.5).



1 – коронирующий игольчатый электрод; 2 – пластина коллекторного электрода; 3 – траектория частицы M ; 4 – силовые линии электрического поля

Рисунок 2.5 – Силы, приложенные к частице M в секции зоны ионизации

Учитывая формулы (2.4), (2.17), дифференциальные уравнения движения частицы под действием сил Кулона и Стокса в плоскости Oxy секции зоны ионизации запишем так:

$$\begin{cases} \rho \frac{\pi D^3}{6} \frac{d^2 x}{dt^2} = q E_{ix} + \frac{3\mu\pi D}{c_c} \left(v_{ax} - \frac{dx}{dt} \right) \\ \rho \frac{\pi D^3}{6} \frac{d^2 y}{dt^2} = q E_{iy} + \frac{3\mu\pi D}{c_c} \left(v_{ay} - \frac{dy}{dt} \right). \end{cases} \quad (2.22)$$

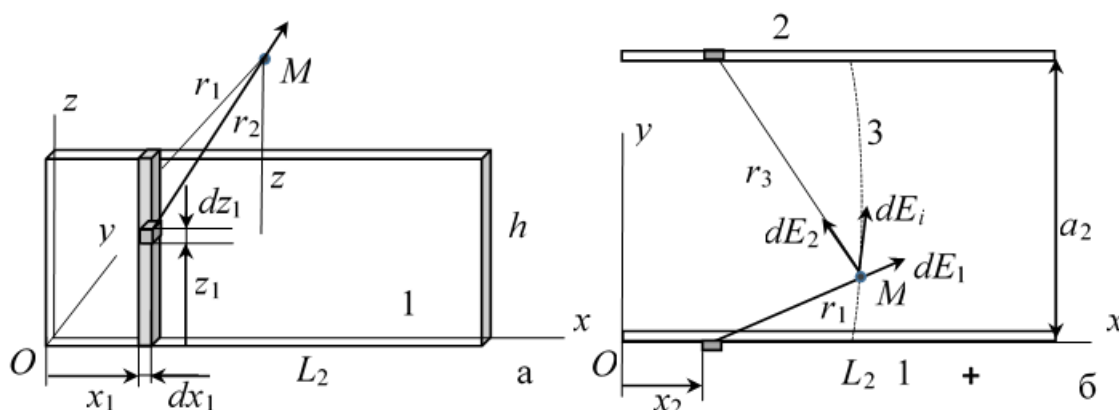
Уравнения (2.22) позволяют найти координаты частицы пыли в каждый момент, если задать начальные условия: координаты частицы x_0, y_0 в нулевой момент и координаты скорости частицы v_{ax}, v_{ay} , равные координатам вектора скорости частицы воздуха в нулевой момент,

$$\begin{cases} x = 0; y = y_0 \\ \frac{dx}{dt} = v_{ax}; \frac{dy}{dt} = v_{ay} \end{cases} \quad (2.23)$$

В уравнениях (2.22) заряд q в каждый момент рассчитывался как сумма зарядов, определенных по формулам (2.18) и (2.19) при диаметре частицы пыли в пределах от $0,1 \cdot 10^{-6}$ до $1,0 \cdot 10^{-6}$ м.

2.1.4 Движение частицы в секции зоны осаждения

Рассмотрим движение заряженной частицы пыли в секции зоны осаждения между электродами. Выберем систему декартовых прямоугольных координат $Oxyz$ с началом O в угловой точке пластины электрода под напряжением так, чтобы ось Oy была перпендикулярна пластине (рис. 2.6).



1 – пластина электрода под напряжением; 2 – пластина коллекторного электрода; 3 – силовая линия электрического поля

Рисунок 2.6 – Секция зоны осаждения с заряженной частицей M между электродами

Найдем выражения сил, приложенных к частице пыли в зоне осаждения. Для оценки силы Кулона определим координаты вектора напряженности электрического поля в точке M по осям Ox , Oy . Поместим в точку M с координатами x , y , z пробный положительный единичный заряд. Будем считать, что положительный заряд q_c пластины электрода под

напряжением распределен равномерно по внутренней поверхности с плотностью $q_c/(h \cdot L_2)$. Выделим на внутренней поверхности пластины электрода элементарную площадку в виде прямоугольника высотой h и стороной элементарной длины dx_1 на расстоянии x_1 от начала координат вдоль оси Ox (рис. 2.4 а). Внутри этого прямоугольника выделим элементарный прямоугольник на расстоянии z_1 от плоскости Oxy элементарной высоты dz_1 по оси Oz , который будем рассматривать как элемент пластины с элементарным положительным зарядом $q_c \cdot dx_1 \cdot dz_1 / (h \cdot L_2)$.

Пусть r_1 – расстояние от точки M до элементарного прямоугольника высотой h , м; r_2 – расстояние от точки M до элемента пластины с координатами x_1, z_1 по осям Ox, Oz , м; dE – элементарная напряженность в точке M электрического поля от заряда элемента пластины, В/м; dE_1 – проекция элементарной напряженности в точке M электрического поля заряда элемента пластины на плоскость Oxy , В/м. По определению,

$$r_1 = [(x - x_1)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}}; \quad (2.24)$$

$$r_2^2 = r_1^2 + (z_1 - z)^2;$$

$$dE = \frac{q_c}{hL_2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} dz_1 dx_1;$$

$$dE_1 = \frac{q_c}{hL_2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} \frac{r_1}{r_2} dz_1 dx_1.$$

Проекции dE_{1x} , dE_{1y} элементарной напряженности в точке M электрического поля от заряда элемента пластины на оси Ox , Oy можно представить такими выражениями:

$$dE_{1x} = \frac{q_c}{hL_2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} \frac{r_1}{r_2} \frac{x - x_1}{r_1} dz_1 dx_1;$$

$$dE_{1y} = \frac{q_c}{hL_2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} \frac{r_1}{r_2} \frac{y}{r_1} dz_1 dx_1.$$

Последние два равенства следует рассматривать как формулы для координат по осям Ox и Oy элементарной напряженности в точке M с координатами x, y, z в электрическом поле элемента пластины электрода с координатами $x_1, 0, z_1$. Отсюда можно найти координаты вектора

напряженности в точке M по осям Ox и Oy в электрическом поле пластины электрода под напряжением ($y \neq 0$)

$$E_{1x} = \frac{q_c}{hL_2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{L_2} (x - x_1) \left(\int_0^h \frac{1}{r_2^3} dz_1 \right) dx_1;$$

$$E_{1y} = \frac{q_c}{hL_2} \frac{y}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{L_2} \left(\int_0^h \frac{1}{r_2^3} dz_1 \right) dx_1.$$

или

$$E_{1x} = \frac{q_c}{hL_2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{L_2} \frac{(x-x_1)}{r_1^2} f(z, r_1) dx_1; \quad (2.25)$$

$$E_{1y} = \frac{q_c}{hL_2} \frac{y}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{L_2} \frac{1}{r_1^2} f(z, r_1) dx_1, \quad (2.26)$$

где $f(z, r_1) = z(z^2 + r_1^2)^{-\frac{1}{2}} + (h - z)[(h - z)^2 + r_1^2]^{-\frac{1}{2}}$.

В соответствии с допущением 4 движение частицы вдоль оси Oz не оказывает существенного влияния на эффективность ЭФ. Поэтому вместо последней функции рассмотрим ее усреднение $F(r_1)$ по переменной z :

$$F(r_1) = f(h/2, r_1)$$

или

$$F(r_1) = h(h^2/4 + r_1^2)^{-\frac{1}{2}}$$

и при $r_1 \ll h$

$$F(r_1) = 2.$$

Подставляя в равенства (2.25), (2.26) вместо функции $f(z, r_1)$ усредненную по переменной z функцию $F(r_1)$, получим следующие выражения координат вектора напряженности в точке M по осям Ox и Oy в электрическом поле пластины электрода под напряжением:

$$E_{1x} = \frac{q_c}{2\pi\epsilon_0 hL_2} \int_0^{L_2} \frac{x-x_1}{r_1^2} dx_1;$$

$$E_{1y} = \frac{q_c}{2\pi\epsilon_0 hL_2} y \int_0^{L_2} \frac{1}{r_1^2} dx_1$$

или

$$E_{1x} = -\frac{q_c}{2\pi\epsilon_0 hL_2} \ln \left| \frac{(L_2-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right|; \quad (2.27)$$

$$E_{1y} = \frac{q_c}{2\pi\epsilon_0 hL_2} \left(\operatorname{arctg} \frac{L_2-x}{y} + \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right). \quad (2.28)$$

В электрическом поле заряда электрода под напряжением на заземленной пластине коллекторного электрода индуцируется отрицательный заряд. Координату по оси Ox напряженности E_{2x} в точке M электрического поля, создаваемого индуцированным зарядом, можно определить по формуле (19), если изменить y на $(a_2 - y)$ и знак на противоположный, а координату по оси Oy напряженности E_{2y} в точке M – по формуле (2.28), если изменить y на $(a_2 - y)$ (рис. 2.6 б):

$$E_{2x} = \frac{q_c}{2\pi\epsilon_0 h L_2} \ln \left| \frac{(L_2 - x)^2 + (a_2 - y)^2}{x^2 + (a_2 - y)^2} \right|; \quad (2.29)$$

$$E_{2y} = \frac{q_c}{2\pi\epsilon_0 h L_2} \left(\operatorname{arctg} \frac{L_2 - x}{a_2 - y} + \operatorname{arctg} \frac{x}{a_2 - y} \right). \quad (2.30)$$

По определению,

$$E_{ix} = E_{1x} + E_{2x}; \quad (2.31)$$

$$E_{iy} = E_{1y} + E_{2y}. \quad (2.32)$$

На прямой линии тока, проходящей через середины пластин $x = L_2/2$, координата напряженности по оси Ox равна нулю ($E_{ix} = 0$); и справедливо равенство

$$U_C = \int_0^{a_2} E_{iy} dy$$

или с учетом равенств (2.32) и (2.28), (2.30)

$$U_C = \frac{2q_c}{\pi\epsilon_0 h L_2} \int_0^{a_2} \operatorname{arctg} \frac{L_2}{2y} dy.$$

Отсюда,

$$U_C = \frac{q_c}{\pi\epsilon_0 h} \left[\frac{2a_2}{L_2} \operatorname{arctg} \frac{L_2}{2a_2} + \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{4a_2^2}{L_2^2} \right) \right].$$

Из последнего равенства можно найти заряд пластины электрода под напряжением при заданном потенциале по формуле

$$q_c = \pi\epsilon_0 h U_C / \left[\frac{2a_2}{L_2} \operatorname{arctg} \frac{L_2}{2a_2} + \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{4a_2^2}{L_2^2} \right) \right]. \quad (2.33)$$

Максимальная напряженность E_{iy_m} электрического поля по оси Oy достигается вблизи пластин электродов и определяется по формуле

$$E_{iy_m} = \frac{q_c}{2\pi\epsilon_0 h L_2} \left(\pi + \operatorname{arctg} \frac{L_2 - x}{a_2} + \operatorname{arctg} \frac{x}{a_2} \right).$$

Дифференциальные уравнения (2.22) движения заряженной частицы аэрозоли в секции зоны ионизации справедливы и для секции зоны осаждения:

$$\begin{cases} \rho \frac{D^3}{6} \frac{d^2x}{dt^2} = qE_{ix} + \frac{3\mu\pi D}{c_c} \left(v_{ax} - \frac{dx}{dt} \right) \\ \rho \frac{D^3}{6} \frac{d^2y}{dt^2} = qE_{iy} + \frac{3\mu\pi D}{c_c} \left(v_{ay} - \frac{dy}{dt} \right). \end{cases} \quad (2.34)$$

где q – заряд частицы, полученный в ионизаторе;

E_{ix} , E_{iy} – координаты напряженности, определяемые по формулам (2.31), (2.32).

Начальные условия можно записать так:

$$\begin{cases} x = x_0; y = y_0 \\ \frac{dx}{dt} = v_{x0}; \frac{dy}{dt} = v_{y0}, \end{cases} \quad (2.35)$$

где x_0 , y_0 – координаты частицы при входе в зону осаждения, равные координатам частицы на выходе из ионизатора с учетом переноса системы координат вдоль оси Ox ;

v_{x0} , v_{y0} – координаты скорости частицы при входе в зону осаждения, равные координатам скорости частицы на выходе из ионизатора.

2.1.5 Показатели эффективности обеспыливания воздуха от пыли

Объективная оценка чистоты воздуха по содержанию пыли в воздухе может быть получена, если известны функции распределения количественной или массовой доли частиц по размеру (диаметру) и требования к содержанию частиц в заданных диапазонах длины. Если плотность пылинок не зависит от их размеров, то между количественной долей и массовой долей сферических частиц пыли в заданном диапазоне размеров существует связь; и достаточно рассмотреть количественные доли. Установлено, что функция распределения частиц пыли в воздухе по размерам соответствует логнормальному закону [65]. Таким образом, для оценки чистоты воздуха в этом случае достаточно найти математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение случайной величины (размера частицы

пыли) до и после обеспыливания воздуха. В настоящее время требования к оценке чистоты воздуха, основанные на законе распределения частиц по размерам, не регламентированы, и в качестве оценочных показателей используются экспериментальные данные концентрации частиц пыли заданного размера в некотором объеме воздуха до очистки и после очистки.

Пусть n_{bD} – число частиц пыли диаметром D в некотором объеме воздуха до фильтрации; n_{eD} – число частиц пыли диаметром D в том же объеме после фильтрации. Показатель P_D эффективности обеспыливания воздуха по частицам размера D зададим формулой:

$$P_D = \frac{n_{bD} - n_{eD}}{n_{bD}}. \quad (2.36)$$

Пусть n_b – заданное число частиц пыли диаметром D , траектории которых рассчитываются; n_e – число частиц пыли диаметром D , траектории которых пересекают коллекторный электрод зоны ионизации или зоны осаждения. Для оценки показателя эффективности под величиной n_{bD} будем понимать заданное число n_b , под величиной n_{eD} – расчетное количество частиц n_e . При использовании формулы (2.36) будем задавать число n_b вместо n_{bD} и рассчитывать n_e вместо n_{eD} .

При определении траекторий частиц в секции зоны ионизации решались дифференциальные уравнения (2.22) для каждой частицы. Координата x_0 частицы по оси Ox на входе в секцию зоны ионизации принималась равной нулю. Начальная координата y_0 частицы по оси Oy на входе в секцию зоны ионизации назначалась. Принималось, что частица заданного размера с равной вероятностью может занимать любое положение между электродами, то есть начальная координата y_0 по оси Oy с равной вероятностью может быть любым числом в пределах от 0 или R до a_1 . Таким образом, в уравнениях (2.23) для i -й частицы $x_0 = x_i$, $y_0 = y_i$, где x_i , y_i – координаты i -й частицы на входе в секцию зоны ионизации, $0 < i \leq n_b$; $x_i = 0$; $y_i = i \cdot a_1 / n_b$. Можно доказать, что траектории частиц, диаметры и начальные скорости которых соответственно равны, не пересекаются, если начальные

координаты y_0 по оси Oy не равны. Отсюда можно сделать такой вывод: при задержании частицы с начальной координатой y_0 частицы, входящие в зону ионизации с той же скоростью и начальной координатой, превышающей y_0 , также задерживаются. По определению, при равномерном распределении частиц заданного диаметра по ширине секции зоны ионизации, на единицу ширины секции приходится n_b/a_1 частиц, и при минимальной начальной координате y_{0D} , приводящей к задержанию частицы, число n_e незадержанных частиц равно $n_b \cdot y_{0D}/a_1$, а число задержанных частиц — $n_b \cdot (a_1 - y_{0D})/a_1$, то есть формулу (2.36) для оценки показателя P_{Di} эффективности обеспыливания воздуха в зоне ионизации по частицам диаметра D можно записать так:

$$P_{Di} = \frac{a_1 - y_{0D}}{a_1}, \quad (2.37)$$

где y_{0D} — минимальная начальная координата частицы диаметром D по оси Oy , траектория которой пересекает пластину коллекторного электрода в зоне ионизации, м.

Полагая, что в промежутке между зоной ионизации и зоной осаждения и в промежутках между зонами осаждения частицы не двигаются вдоль оси Oy , приходим к выводу, что формулу (2.37) можно использовать и в общем случае, когда частицы задерживаются в зоне ионизации или в зонах осаждения. Запишем ее так:

$$P_D = \frac{a_1 - y_{0D}}{a_1}, \quad (2.38)$$

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, м.

Формула (30) для расчета показателя эффективности обеспыливания воздуха по частицам заданного размера справедлива в том случае, когда воздух проходит через электрофильтр однократно. Она пригодна при расчете показателя в открытых негерметичных помещениях. Применительно к закрытым помещениям с малым воздухообменом ее необходимо усовершенствовать.

Пусть V – объем воздуха в закрытом помещении (м^3); m_0 – масса частиц заданного размера в объеме до обеспыливания воздуха (кг); n – число проходов воздуха через электрофильтр; T – время работы вентилятора электрофильтра (с); Q_b – производительность вентилятора ($\text{м}^3/\text{с}$).

Отметим, что, в соответствии с формулой (30) показатель P_D на каждом проходе не зависит от числа проходов n . По определению, масса m не уловленных электрофильтром частиц заданного диаметра за n проходов воздуха через электрофильтр определяется по формуле:

$$m = m_0(1 - P_D)^n. \quad (2.39)$$

Отсюда можно найти долю P_{DT} уловленных частиц за n проходов так:

$$P_{DT} = \frac{m_0 - m}{m_0} = 1 - (1 - P_D)^n \quad (2.40)$$

или, так как $n \approx T \cdot Q_b / V$,

$$P_{DT} = 1 - (1 - P_D)^{\frac{T \cdot Q_b}{V}}. \quad (2.41)$$

2.1.6 Время работы электрофильтра и связь времени с показателями эффективности обеспыливания воздуха

Пусть T_1 – время, за которое вентилятор прокачает воздух в объеме V :

$$T_1 = V / Q_b. \quad (2.42)$$

Запишем формулу (2.41) в таком виде:

$$P_{DT} = 1 - (1 - P_D)^{\frac{T}{T_1}}$$

или

$$\frac{T}{T_1} = \frac{\ln(1 - P_{DT})}{\ln(1 - P_D)}. \quad (2.43)$$

Формулу (2.43) можно использовать для оценки времени работы электрофильтра, обеспечивающего требуемый показатель P_{DT} эффективности обеспыливания воздуха в помещении с малым воздухообменом с внешней средой, если известен показатель эффективности P_D при однократном прогоне воздуха вентилятором за время T_1 :

$$T = T_1 \frac{\ln(1-P_{DT})}{\ln(1-P_D)}. \quad (2.44)$$

2.1.7 Расчет показателя эффективности обеспыливания воздуха при однократном проходе через электрофильтр

1. Задание исходных данных с назначением D , n_L (табл. 2.1):

Таблица 2. 1 – Исходные данные

Обозначение	e , Кл	T_a , К	k , Дж/К	N_0 , 1/м ³	v_C , м/с	v_Z , м ² / (В·с)	U_k , В	μ , Па·с
Величина	$1,602 \cdot 10^{-19}$	293	$1,38 \cdot 10^{-23}$	$1 \cdot 10^{15}$	239	$1,4 \cdot 10^{-4}$	11000	$1,81 \cdot 10^{-5}$
Обозначение	ρ_a , кг/м ³	ρ , кг/м ³	ε_0 , Кл ² / (Н·м ²)	ε	h , м	a_1 , м	a_2 , м	L_1 , м
Величина	1,2	1000	$8,85 \cdot 10^{-12}$	3	0,15	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	0,012
Обозначение	L_2 , м	v_a , м/с	v_{ax} , м/с	v_{ay} , м/с	D , м	R , м	U_c , В	n_b
Величина	0,012	0,7	0,7	0	$1 \cdot 10^{-7} \dots 1 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-5}$	6000	1000
Обозначение	n_{bD} , %	y_0 , м	n_L					
Величина	80..	$y_0 < a_1$	1..2					

2. $x_C = L_1/2$.

3. Оценка максимальной напряженности электрического поля в ионизаторе по формуле (2.16) и расчет q_k по формуле (2.15).

4. Установка номера i частицы: $i = 1$.

5. Задание координат x , y частицы и скорости частицы заданного размера в момент $t = 0$ по формулам (2.23), где $y_0 = i \cdot a_1/n_b$.

6. Численное решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений (2.22) методом Рунге-Кутты и расчет координат x , y точки (частицы) в секции зоны ионизации, где r_1 определяется по формуле (2.6); E_1 – по формуле (2.10); r_3 – по формуле (2.12); E_2 – по формуле (2.11); E_{ix} , E_{iy} – по формулам (2.13); E_{cx} , E_{cy} – по формулам (2.21); E_c – по формуле (2.20); q – как сумма зарядов, вычисленных по формулам (2.18) и (2.19) для D от 1 мкм до 10 мкм.

7. Расчет показателя эффективности по формуле (2.38) для частиц диаметром D при $y_{0D} = y_0$, если выполнены неравенства $x \leq L_1$; $y \geq a_1$ и окончание расчетов.
8. Численное решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений (2.34) методом Рунге-Кутты при начальных условиях (2.35), полученных из уравнений (2.22) на выходе частицы из зоны ионизации, где q_C определяется по формуле (2.33); E_{1x} – по формуле (2.27), E_{1y} – по формуле (2.28); E_{2x} – по формуле (2.29); E_{2y} – по формуле (2.30); E_{ix} – по формуле (2.31); E_{iy} – по формуле (2.32).
9. Расчет показателя эффективности по формуле (2.38) для частиц диаметром D при $y_{0D} = y_0$, если выполнены неравенства $x \leq L_1 + L_2$; $y \geq a_2$ и окончание расчетов.
10. Численное решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений (2.34) методом Рунге-Кутты при начальных условиях (2.35), полученных из уравнений (2.34) на выходе частицы из 1-й зоны осаждения, где q_C определяется по формуле (2.33); E_{1x} – по формуле (2.27), E_{1y} – по формуле (2.28); E_{2x} – по формуле (2.29); E_{2y} – по формуле (2.30); E_{ix} – по формуле (2.31); E_{iy} – по формуле (2.32).
11. Расчет показателя эффективности по формуле (2.38) для частиц диаметром D при $y_{0D} = y_0$, если выполнены неравенства $x \leq L_1 + 2 \cdot L_2$; $y \geq a_2$ и окончание расчетов.
12. Увеличение номера i частицы на 1.
13. Переход к пункту 5, если выполняется неравенство $i < n_b$.

2.2 Анализ процесса обеззараживания воздуха в комбинированной электроустановке

Бактерицидное действие ультрафиолетового излучения находится от 200 нм до 260 нм (область С). Энергия данной зоны вызывает повреждение микроорганизмов на клеточном и генетическом уровнях [96].

В качестве искусственных источников ультрафиолетового излучения используют ртутные газоразрядные лампы [54]. Для наибольшей эффективности бактерицидного воздействия на микроорганизмы подходят лампы газоразрядные лампы низкого давления (ДБК) [9].

При работе ультрафиолетовой лампы выделяется озон, который также обладает газовой санацией. Как было отмечено ранее, при коронном разряде в электрофилтре также выделяется озон. Превышение предельно-допустимой концентрации озона в помещении для содержания птиц недопустимо, вследствие чего необходимо на выходе комбинированного электрофилтра минимизировать выход озона. Для этой цели необходимо на выходе установить лампу ДРТ, которая известна разрушающим действием на озон.

Комбинация 4 зон позволит повысить эффективность обеззараживания и обеспыливания воздуха в сельскохозяйственных помещениях, при этом устранить недостатки применяемых методов.

2.2.1 Определение бактерицидного потока лампы

Эффективность обеззараживания воздушной среды от находящихся в ней микроорганизмов находится в зависимости от мелкодисперсных пылевых и аэрозольных частиц, на которых, как правило, оседают микроорганизмы.

Бактерицидная эффективность ($J_{\text{БК}}$, %) – оценка уровня снижения микробной обсемененности воздушной среды в результате воздействия ультрафиолетового излучения, выраженная в процентах, как отношение числа погибших микроорганизмов (N_n) к их начальному числу до облучения (N_n) [99]:

$$J_{\text{БК}} = \frac{N_n}{N_n} \cdot 100. \quad (2.45)$$

По упрощенной методике [98] расчета с вероятностью 0,75, бактерицидную эффективность воздушной среды помещений можно найти:

$$J_{\text{бк}} = \frac{15,6 \cdot \Phi_{\text{бк}}}{V \cdot K} \cdot \zeta \cdot e^{-\sigma \cdot x}, \quad (2.46)$$

где $\Phi_{\text{бк}}$ – бактерицидный поток облучателя, Вт;

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.

Бактерицидный поток определяется как поток излучения, оцененный по его бактерицидному действию, т.е. по эффективности уничтожения бактерий.

В известных исследованиях по изучению зависимости бактерицидного потока от запыленности воздуха помещений [62] результаты показывают, что если снизить концентрацию пылевых частиц в помещении в 10 раз, то бактерицидная эффективность УФ-облучателей возрастает до 33%.

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

$$\Phi_{\text{бк}} = J_{\text{бк}} \cdot \frac{V \cdot K}{15,6 \cdot \zeta \cdot e^{-\sigma \cdot x}}. \quad (2.47)$$

Коэффициент пропускания излучения средой в птичниках примерно равен 0,3 м⁻¹, в сухих незапыленных помещениях примерно 0,06 м⁻¹ [99]. В электрофилт্রে коэффициент пропускания излучения можно принять примерно равным 0,06 из-за снижения концентрации мелкодисперсных пылевых частиц после прохождения воздушного потока через зоны зарядки и осаждения.

Из анализа данных параметров вытекает вывод, что бактерицидная эффективность установки зависит от бактерицидного потока облучателя, объема помещения, времени работы и коэффициента пропускания излучения средой.

Таким образом, при уменьшении запыленности в области бактерицидной лампы ее бактерицидная эффективность будет находиться в максимальных значениях продолжительное время.

2.3 Выводы по главе

1. Разработанная теоретическая модель процесса обеспыливания воздуха по сферическим частицам заданного диаметра позволяет найти наибольшее расстояние, определяющее положение частицы пыли, оседающей на электродах, при входе в зону ионизации до коронирующего электрода. Наибольшее расстояние, определяющее положение частицы пыли, оседающей на электродах, при входе в зону ионизации до коронирующего электрода используется для нахождения эффективности обеспыливания частиц пыли различного диаметра.

2. Предложенный показатель эффективности обеспыливания воздуха по частицам заданного диаметра устанавливает связь между долей частиц в воздухе, показателем эффективности при однократном проходе воздуха через электрофильтр и временем обеспыливания.

3. Разработана методика расчета максимальной напряженности электрического поля и максимального потенциала в зоне ионизации и времени работы установки до требуемого показателя эффективности обеспыливания.

4. Обоснована возможность повышение эффективности обеззараживания воздуха за счет увеличения бактерицидного потока лампы.

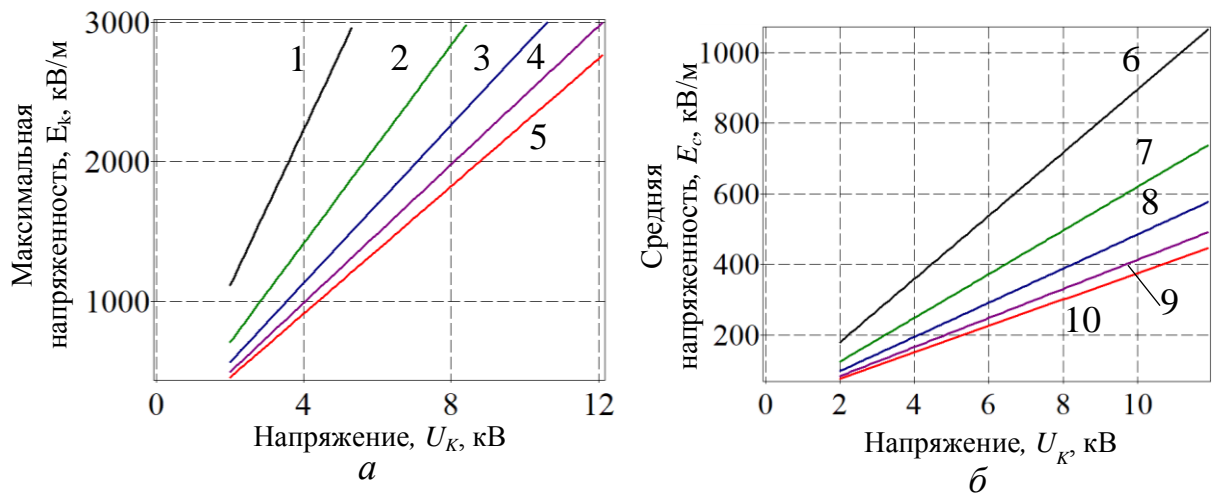
3 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОН ИОНИЗАЦИИ, ОСАЖДЕНИЯ, БАКТЕРИЦИДНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

3.1 Влияние потенциала коронирующего электрода на напряженность электрического поля и зарядку частиц в ионизаторе

Напряженность электрического поля и заряд частицы пыли служат определяющими факторами, влияющими на характеристики движения частицы в зоне ионизации. При этом максимальная напряженность не должна превышать напряженность пробоя, а средняя напряженность должна обеспечивать заряд частиц, достаточный для притяжения к осадительным электродам. Расчеты в данной главе и построение графиков производились при помощи программы ЭВМ «Расчет электрофильтра», зарегистрированной в Реестре программ для ЭВМ (приложение А).

Расчеты по формуле (2.16) показали, что потенциал коронирующего электрода от 10 до 12 кВ обеспечивает высокую максимальную напряженность, не превышающую напряженности пробоя при радиусе провода 1,5..2 мм (рис. 3.1 а). При этом средняя напряженность электрического поля, определенная по формулам (2.20), (2.21), зависит от u и изменяется от 400 до 1000 кВ/м (рис. 3.1 б).

Если за максимальную напряженность принять критическую начальную напряженность электрического поля, приводящую к возникновению коронного разряда и равную 1500 кВ/м, то при радиусе провода 1,5..2 мм потенциал коронирующего электрода достаточно устанавливать на уровне 6 кВ (рисунок 3.1, а). При этом средняя напряженность электрического поля в ионизаторе составит 220..550 кВ/м (рис. 3.1, б). При задании максимальной напряженности от 2000 до 2500 кВ/м потенциал коронирующего электрода необходимо увеличивать до 10 кВ и выше.

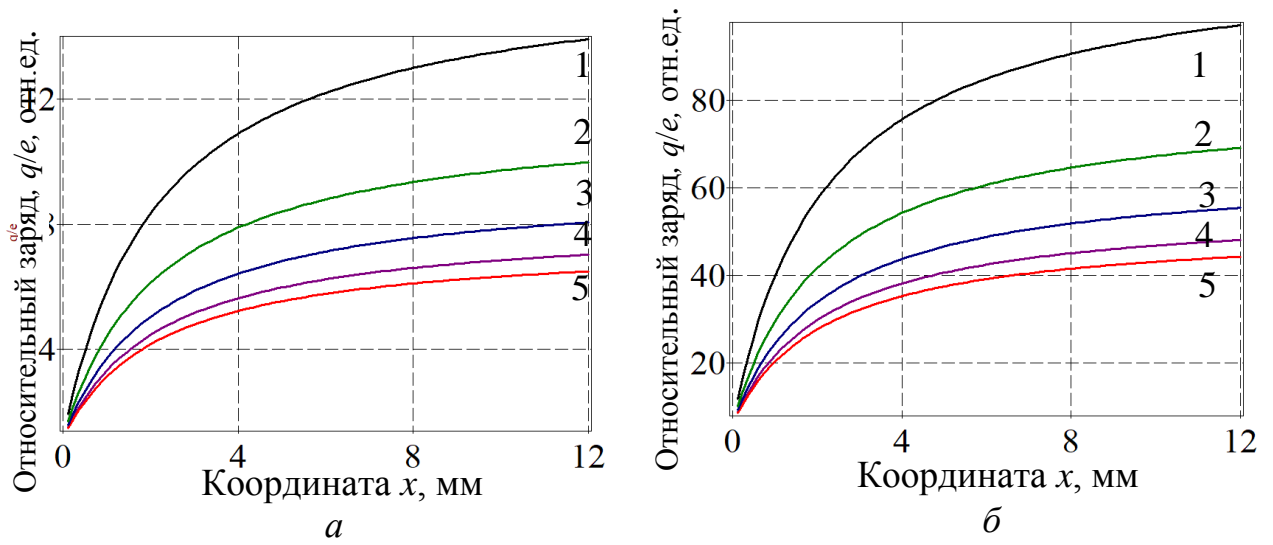


1 – $R = 0,5$ мм; 2 – $R = 1$ мм; 3 – $R = 1,5$ мм; 4 – $R = 2$ мм; 5 – $R = 2,5$ мм; 6 – $y = 2$ мм; 7 – $y = 3,5$ мм; 8 – $y = 5$ мм; 9 – $y = 6,5$ мм; 10 – $y = 8$ мм

Рисунок 3.1 – Зависимости максимальной (а) и средней (б) напряженности в ионизаторе от потенциала коронирующего электрода при исходных данных в табл. 2.1 – заданном радиусе R проволочного электрода и заданной координате y

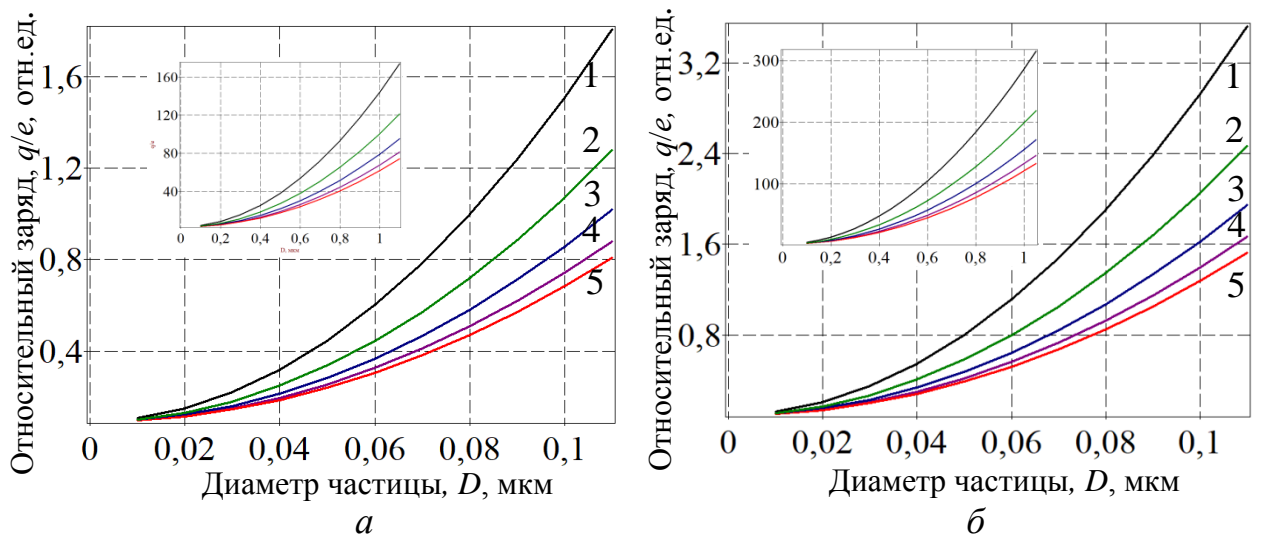
Удаленность траектории частицы от коронирующего электрода, характеризуемую координатой y_0 по оси Oy в момент входа частицы в зону ионизации, влияет на заряд, получаемый частицей (рис. 3.2). Расчеты по формулам (2.18), (2.19) показывают, что зарядка частиц размером 0,3 мкм и 0,8 мкм, начальная координата которых по оси Oy равна 8 мм, вдвое ниже тех, которые входят в зону ионизации с координатой 2 мм.

Отметим, что при скорости воздушного потока 0,7 м/с и длине зоны ионизации 12 мм частицы получают 95% максимального заряда. Таким образом, удлинение зоны ионизации не приведет к существенному увеличению заряда частиц. При равномерном распределении пыли по ширине окна электрофилтра около половины частиц диаметром 0,1 мкм не получают заряд от коронирующего электрода с потенциалом 6 кВ (рис. 3.3, а).



1 – $y_0 = 2$ мм; 2 – $y_0 = 3,5$ мм; 3 – $y_0 = 5$ мм; 4 – $y_0 = 6,5$ мм; 5 – $y_0 = 8$ мм

Рисунок 3.2 – Зависимости относительного заряда (в электронах) частицы размером 0,3 мкм (а) и 0,8 мкм (б) от пробега в зоне ионизации при исходных данных в табл. 2.1 и заданной начальной координате y_0



1 – $y_0 = 2$ мм; 2 – $y_0 = 3,5$ мм; 3 – $y_0 = 5$ мм; 4 – $y_0 = 6,5$ мм; 5 – $y_0 = 8$ мм

Рисунок 3.3 – Зависимости относительного заряда частицы (в электронах) от диаметра частицы при потенциале коронирующего электрода 6 кВ (а) и 12 кВ (б) и заданной начальной координате y_0

Минимальный заряд получают только те частицы, начальная координата которых по оси Oy в момент входа в ионизатор не превышает 5 мм. Таким образом, можно констатировать, что рассматриваемый электростатический фильтр с коронирующим электродом с потенциалом 6кВ фактически не обеспечивает зарядку и фильтрацию более 50% частиц диаметром 0,1 мкм, поскольку они не заряжены. Заряд частиц диаметром 0,1 мкм обеспечивается коронирующим электродом с потенциалом 10..12 кВ (рис. 3.3 б). Зависимость эффективности обеспыливания от приложенного напряжения на коронирующих электродах приведена на рисунке 3.4.

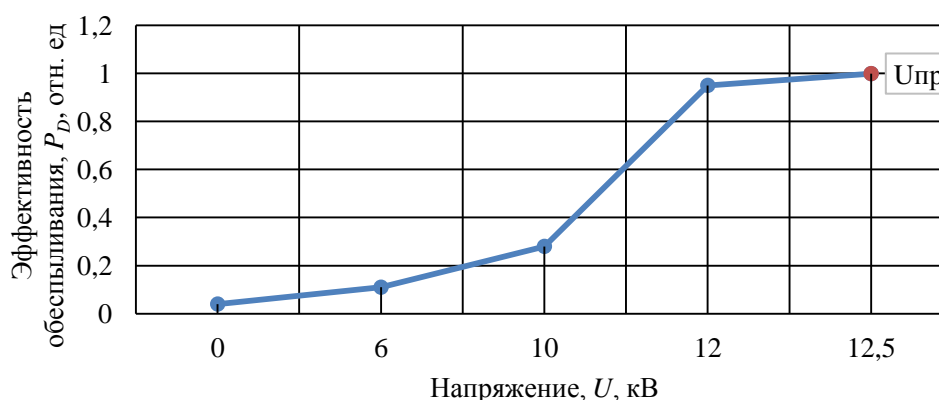


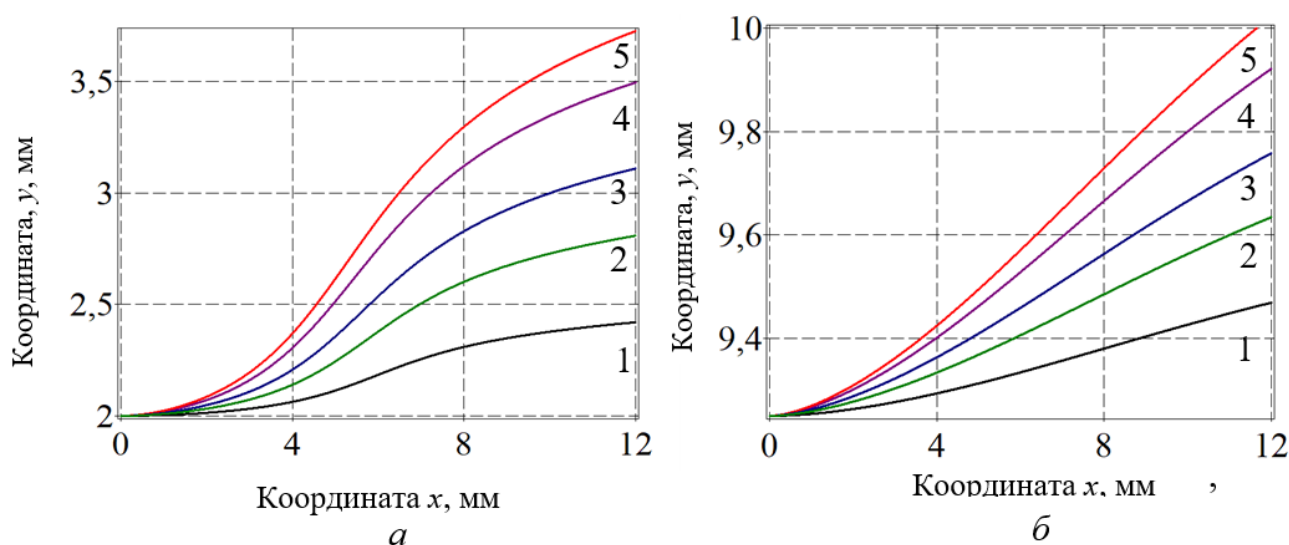
Рисунок 3.4 – Зависимость эффективности обеспыливания от напряжения

В представленном алгоритме под зарядом частицы понимается число q , не приведенное к кратному заряду электрона. То есть полагается, что и частицы с координатой y , превышающей 5 мм, получают заряд, который не превышает заряд электрона. Полагаем, что частица задерживается в зоне ионизации, если ее траектория пересекает пластину коллекторного электрода. Для определения условий задержания частицы в зоне ионизации необходимо найти траекторию ее движения.

3.2 Движение частиц в зоне ионизации

Определим теоретические условия задержания и осаждения частиц на пластине коллекторного электрода в зоне ионизации. Будем полагать, что

частица задерживается пластиной коллекторного электрода, если траектория частицы пересекает пластину. Траектории частиц определялись из системы обыкновенных дифференциальных уравнений (2.22), решения которых получены численным методом Рунге-Кутты [26]. Условия задержания частицы с координатами x , y в какой-то момент имеют вид: $y \geq a_1$; $x \leq L_1$. Решения показали, что после входа в зону ионизации частицы отклоняются от прямолинейной траектории (рис. 3.5, *a*).



1 – $D = 0,1$ мкм; 2 – $D = 0,3$ мкм; 3 – $D = 0,5$ мкм; 4 – $D = 0,8$ мкм;
5 – $D = 1$ мкм

Рисунок 3.5 – Связь между координатами x , y движущихся частиц разных диаметров D при входе в зону ионизации в точке с начальной координатой y_0 , равной 2 мм (*a*) и 9.25 мм (*б*)

Найдем показатель эффективности для частиц диаметром 1 мкм, 0,8 мкм, 0,5 мкм и 0,3 мкм без учета зон осаждения (рисунок 3.6). Частицы диаметром 1 мкм, входящие в зону ионизации на расстоянии 0,75 мм от коллекторной пластины и менее, сталкиваются с пластиной и задерживаются (рис. 3.5 *б*). Таким образом, 7,5% частиц данного размера задерживаются в зоне ионизации.

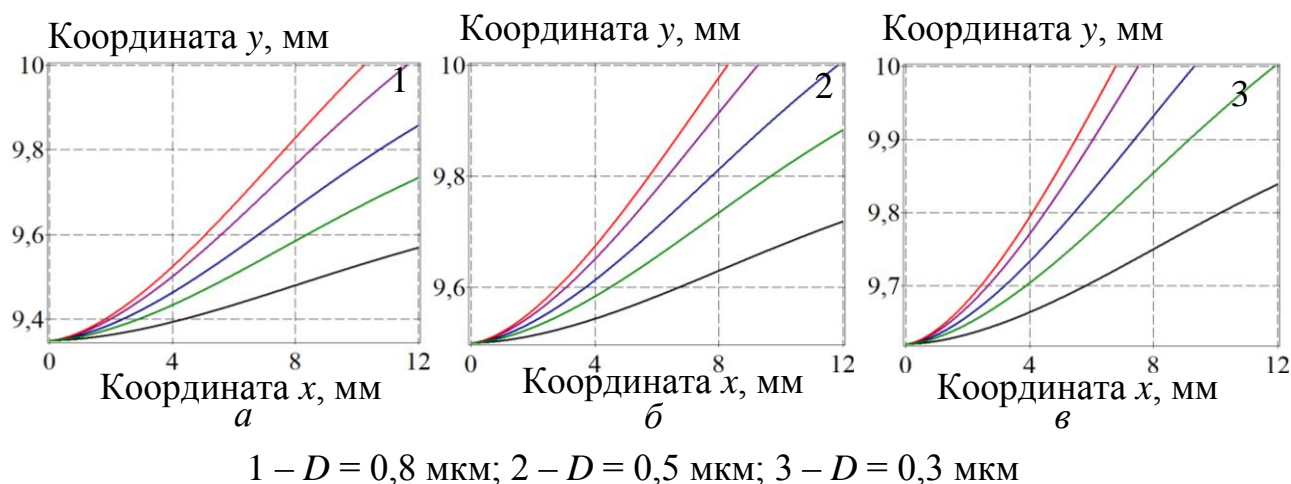
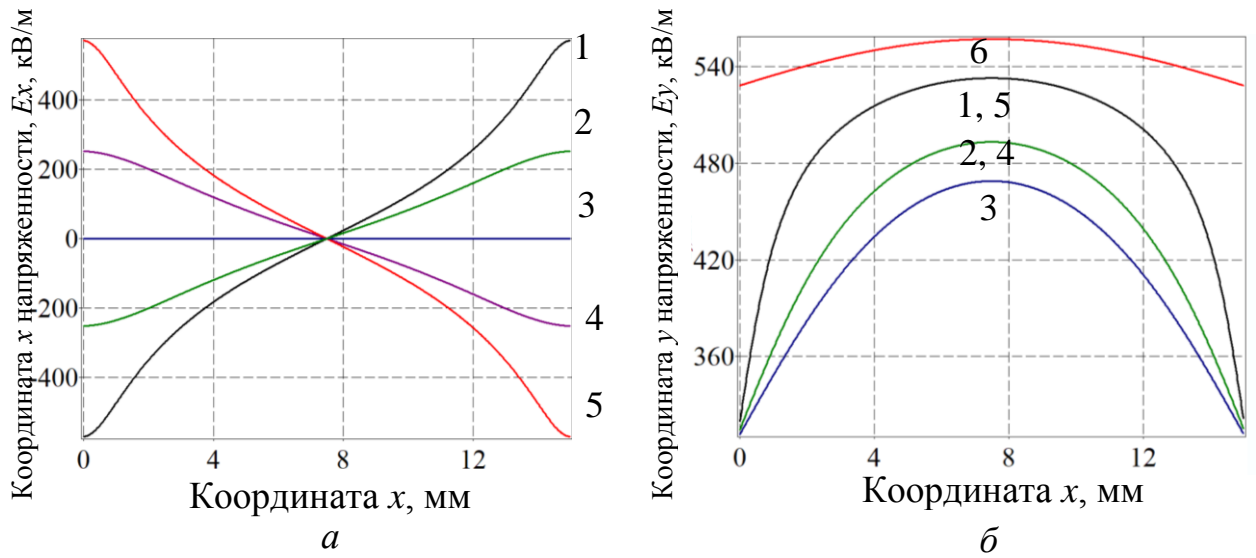


Рисунок 3.6 – Связь между координатами x , y движущихся частиц разных диаметров D при входе в зону ионизации в точке с начальной координатой y_0 , равной 9,35 мм (a), 9,5 мм (b) и 9,6 мм (v)

Аналогично, варьируя начальной координатой y_0 , можно рассчитать массовые доли частиц, задерживаемых на коллекторной пластине, диаметром 0,8 мкм, 0,5 мкм и 0,3 мкм. Они равны соответственно 6,5%, 5% и 4% (рис. 3.6).

3.3 Напряженность электрического поля в зоне осаждения и связь длины пластин электродов с напряженностью

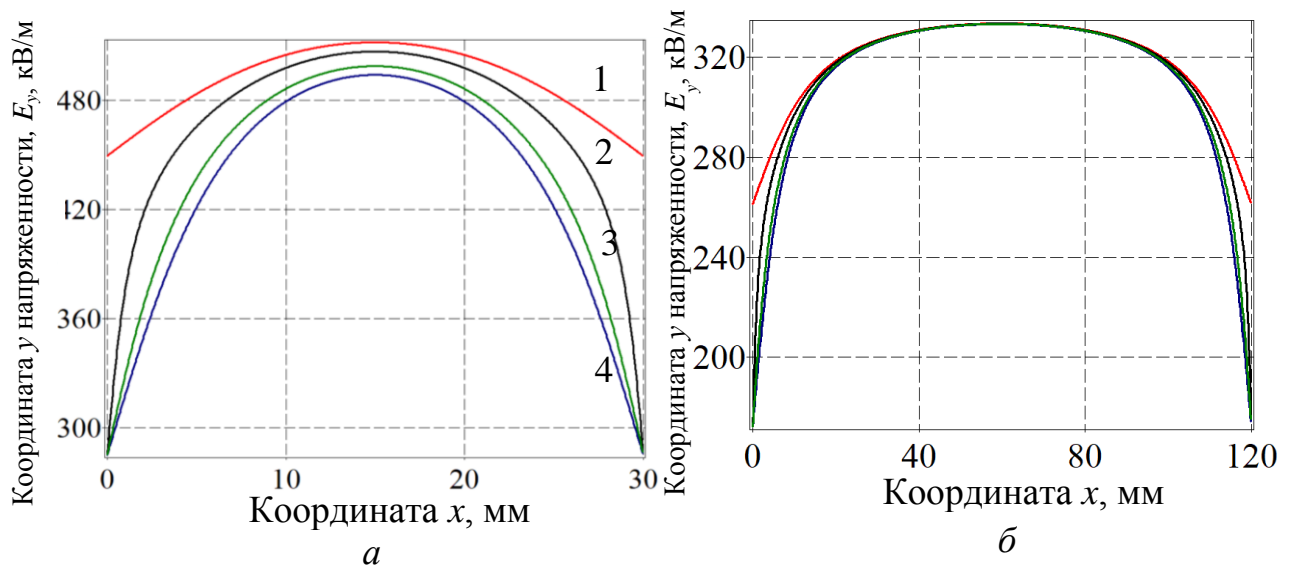
Напряженность электрического поля между электродами зоны осаждения, обеспечивающая дрейф частиц к коллекторным электродам, неоднородна. На рисунке 3.7 приведены исследования координаты напряженности электрического поля E_x (a) и E_y (b) от электрода с потенциалом 6 кВ в точках сечения зоны осаждения с координатами x .



1 – $y = 1$ мм; 2 – $y = 3$ мм; 3 – $y = 6$ мм; 4 – $y = 9$ мм; 5 – $y = 11$ мм; 6 – $y = 0$ мм

Рисунок 3.7 – Координаты напряженности электрического поля E_x (а) и E_y (б) от электрода с потенциалом 6 кВ в точках секции зоны осаждения с координатами x

Однородность напряженности в зоне осаждения значительно повышается с увеличением длины пластин электродов (рисунок 3.8).



1 – $y = 0$ мм; 2 – $y = 1$ мм, $y = 11$ мм; 3 – $y = 3$ мм; $y = 9$ мм, 4 – $y = 6$ мм

Рисунок 3.8 – Координата напряженности электрического поля E_y от электрода с потенциалом 12 кВ в точках зоны осаждения с координатами x , y при длине пластины 30 мм (а) и 120 мм (б)

Можно видеть, что с увеличением длины пластин электродов напряженность на средней линии между пластинами увеличивается, а на удаленных от средней линии уменьшается. Отсюда можно заключить, что с уменьшением длины пластин сила Кулона, обеспечивающая притяжение частицы к коллекторному электроду возрастает. Малая длина пластины коллекторного электрода может оказаться недостаточной для того, чтобы за время движения частицы между электродами ее траектория пересекла границу пластины. Обеспечить столкновение частицы с пластиной можно либо за счет удлинения пластины, либо за счет добавления зоны осаждения с пластинами той же длины и отстоящей от предыдущей зоны на некотором расстоянии. Второе решение обеспечивает более эффективное удержание частиц на коллекторном электроде при сохранении заряда.

3.4 Исследование скорости частиц пыли и количества зон осаждения

В соответствии с формулой (2.43) показатель эффективности обеспыливания воздуха зависит от показателя обеспыливания при однократном проходе воздуха через фильтр и от отношения производительности вентилятора к быстройте воздухообмена.

Оценим длину зоны осаждения, обеспечивающую улавливание частицы при однократном проходе воздуха. Рассмотрим частицу диаметром 0,5мкм. При входе в зону осаждения на расстоянии 4 мм от коллекторной пластины ее скорость дрейфа варьирует от 0,04 до 0,06 м/с (рис. 3.9).

Расчеты показали, что скорость частицы вдоль пластин электродов близка к скорости воздушного потока 0,7м/с, и траектория частицы пересечет коллекторную пластину, если длина последней составит 55 мм. Для улавливания частиц, входящих в зону осаждения на расстоянии 10мм от

заряженной пластины ($y_0 = 2$ мм), длину коллекторной пластины необходимо увеличить до 70 мм.

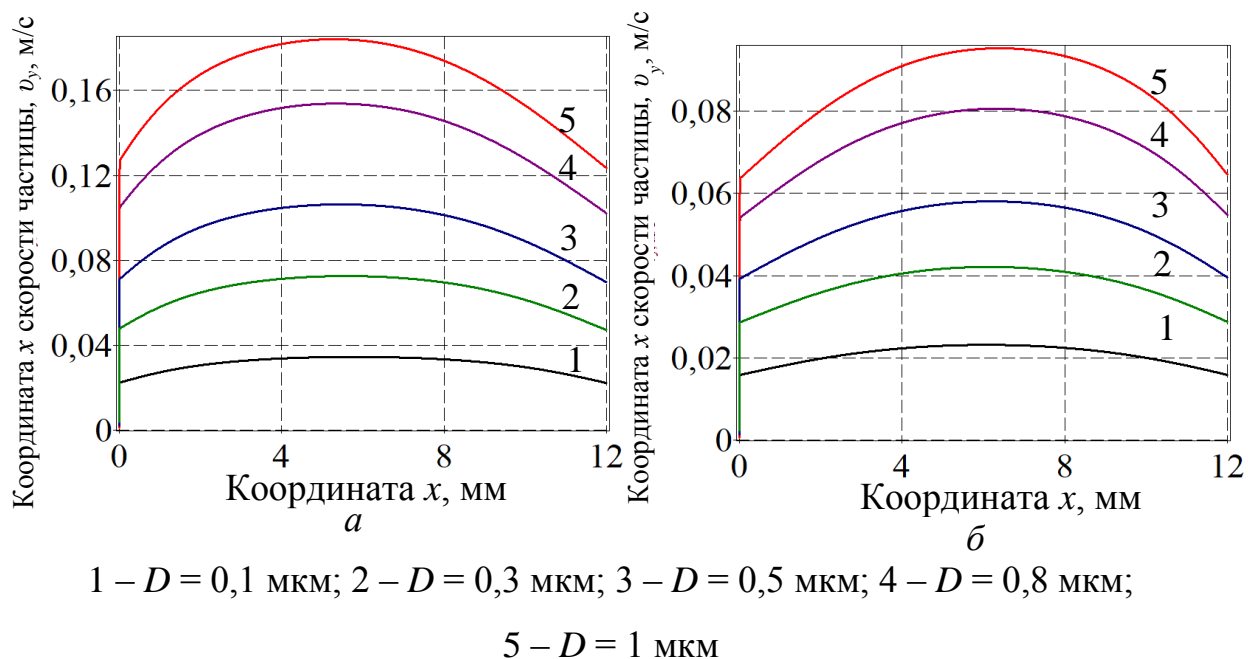


Рисунок 3.9 – Зависимость координаты скорости частицы диаметром D вдоль оси Oy от координаты x в зоне осаждения при входе на расстоянии от коллекторной пластины 10 мм (а) и 4 мм (б)

Учитывая, что при движении в ионизаторе частица приблизится к коллекторной пластине на 1 мм и более и $y_{0D} = y_0 - 1$, показатель эффективности, рассчитанный по формуле (2.38), при длине пластины 70 мм составит более 90 %:

$$P_D = \frac{a_1 - y_{0D}}{a_1} = \frac{10 - 1}{10} = 0,9.$$

Таким образом, предварительная оценка показывает, что одной зоны осаждения с пластинами длиной 15 мм для улавливания частиц диаметром 0,5 мкм при однократном проходе воздуха через электрофильтр недостаточно.

Найдем расчетные по формуле (2.38) показатели эффективности обеспыливания воздуха на основе анализа траекторий движения частиц

диаметром 0,1 мкм, 0,3 мкм, 0,5 мкм и 0,8 мкм за один проход воздуха через электрофильтр. Будем определять такую траекторию частицы, которая пересекает дальний край коллекторной пластины зоны осаждения и фиксировать при этом начальную координату y_0 частицы при входе в секцию зоны ионизации. Можно доказать, что все частицы данного размера, входящие в зону ионизации с начальной координатой, превышающей y_0 , будут улавливаться коллекторной пластиной. Поиск величины y_0 программным путем требует значительного машинного времени. Поэтому минимальную начальную координату y_0 будем оценивать визуальным методом перебора траекторий, определяя ту, которая пересекает дальний край коллекторного электрода. На рисунках 3.10..3.13 показаны траектории частиц, позволяющие оценить минимальную начальную координату y_0 .

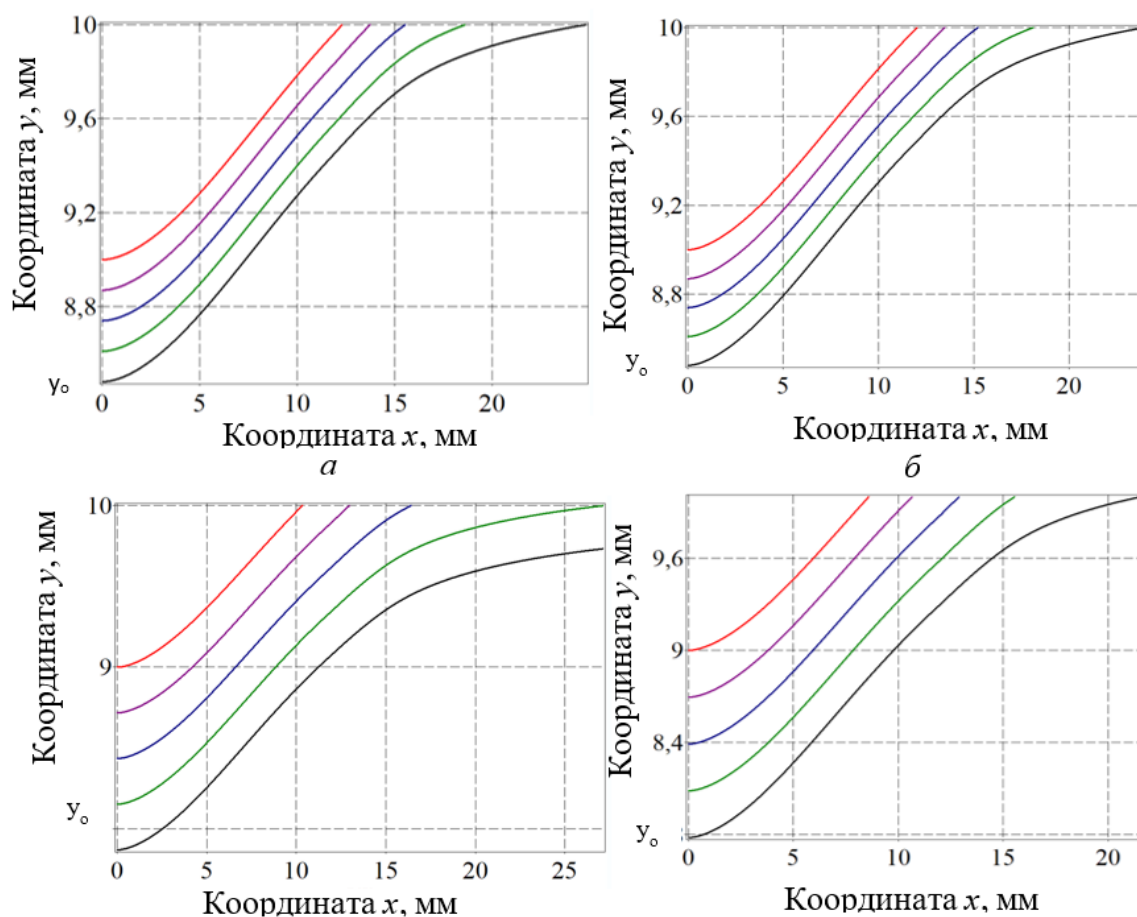


Рисунок 3.10 – Траектории частицы диаметром 0,1 мкм с начальными координатами от 8,48 до 9,0 мм (*а*), диаметром 0,3 мкм с начальными координатами от 8,48 до 9,0 мм (*б*), диаметром 0,5 мкм с начальными

координатами от 7,78 до 9,00 мм (ϱ), диаметром 0,8 мкм с начальными координатами от 7,78 до 9,00 мм (z) в зоне ионизации длиной 12 мм и в одной зоне осаждения длиной 15 мм при скорости воздуха 0,7 м/с

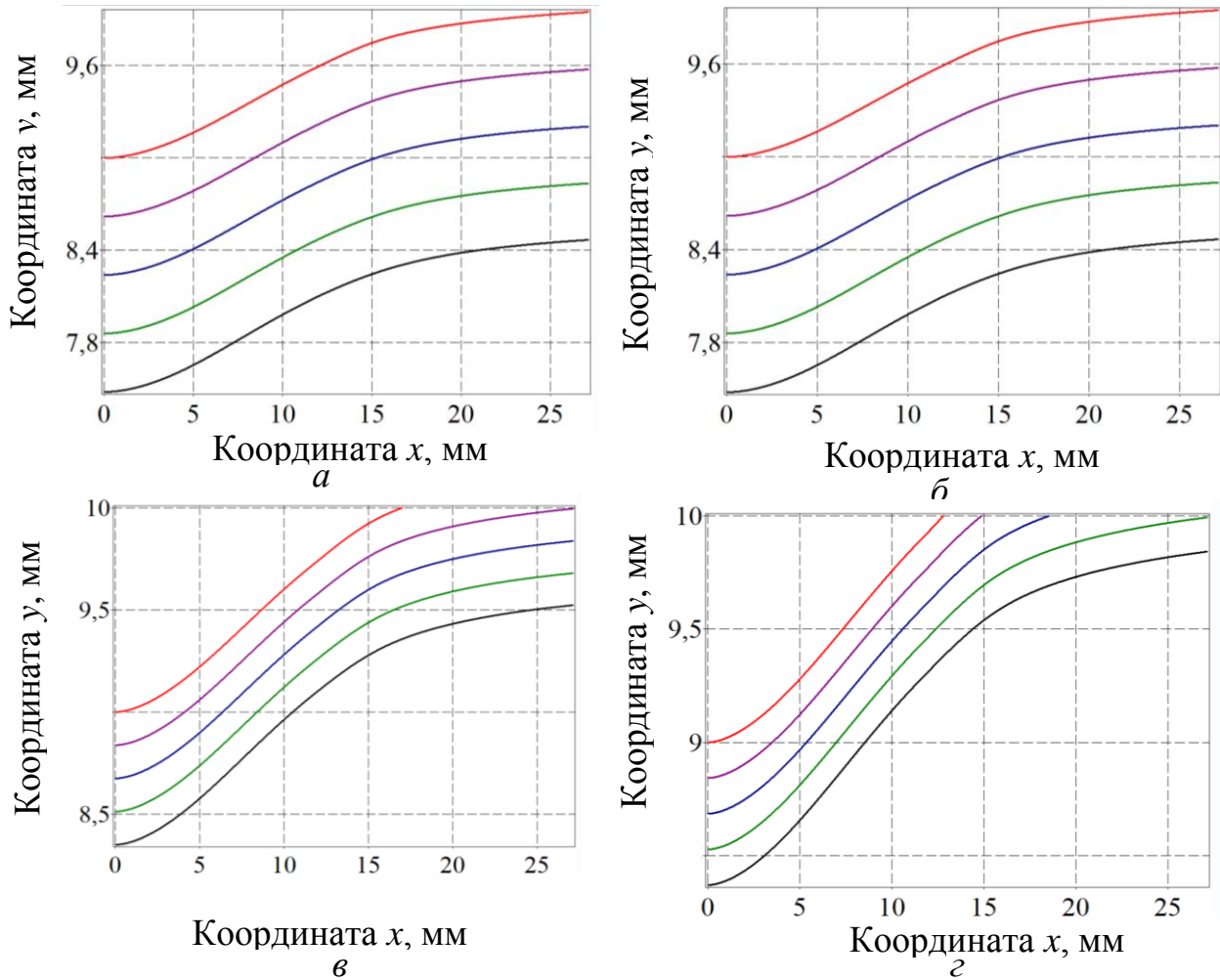


Рисунок 3.11 – Траектории частицы диаметром 0,1 мкм с начальными координатами от 7,48 до 9,00 мм (*a*), диаметром 0,3 мкм с начальными координатами от 7,48 до 9,00 мм (*б*), диаметром 0,5 мкм с начальными координатами от 8,35 до 9,00 мм (*в*), диаметром 0,8 мкм с начальными координатами от 8,37 до 9,00 мм (*г*) в зоне ионизации длиной 12 мм и в одной зоне осаждения длиной 15 мм при скорости воздуха 1 м/с

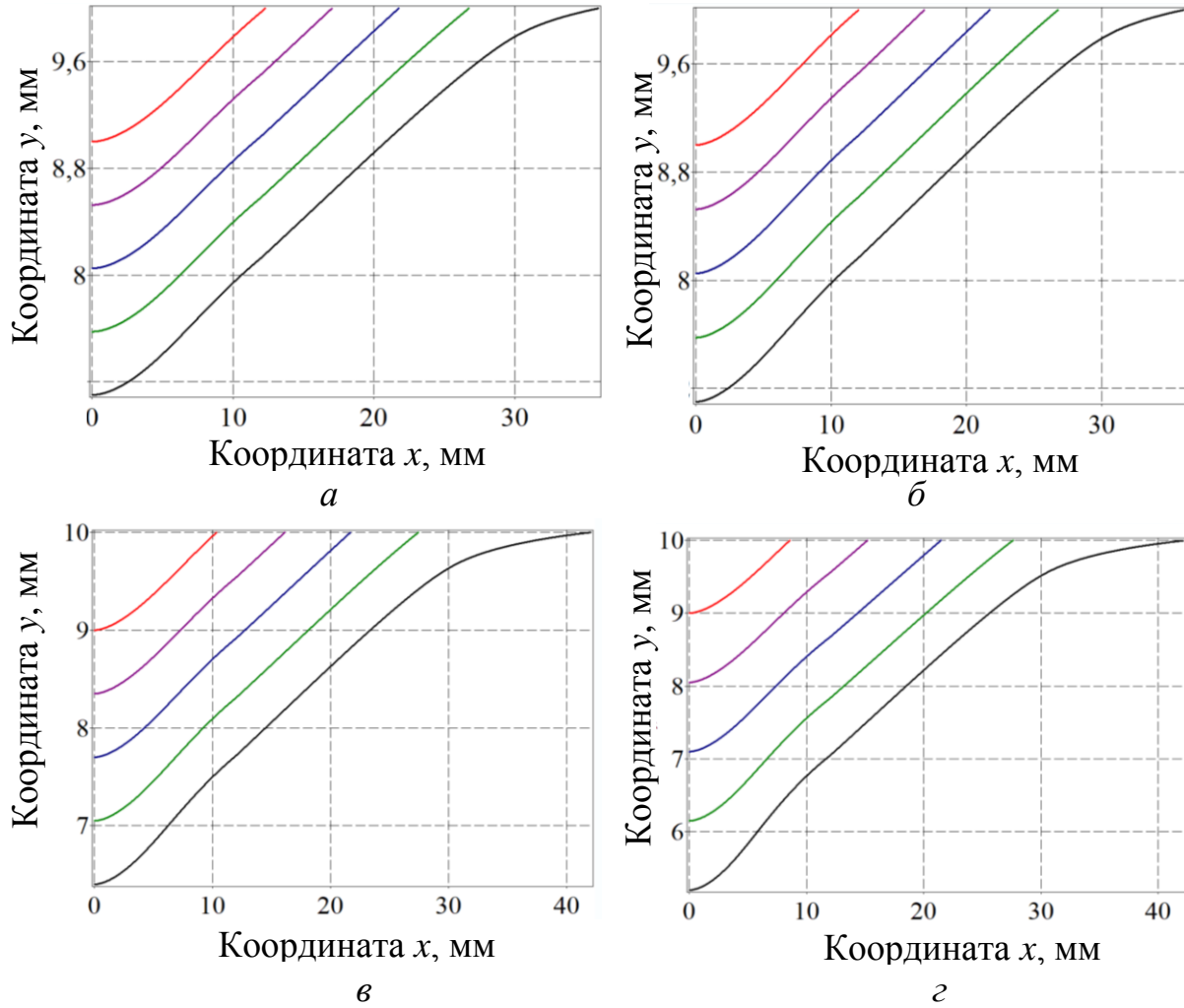


Рисунок 3.12 – Траектории частицы диаметром 0,1 мкм с начальными координатами от 7,1 до 9,0 мм (*a*), диаметром 0,3 мкм с начальными координатами от 7,1 до 9,0 мм (*б*), диаметром 0,5 мкм с начальными координатами от 6,40 до 9,0 мм (*в*), диаметром 0,8 мкм с начальными координатами от 5,2 до 9,00 мм (*г*) в зоне ионизации длиной 12 мм и в двух зонах осаждения длиной 15 мм каждая при скорости воздуха 0,7 м/с

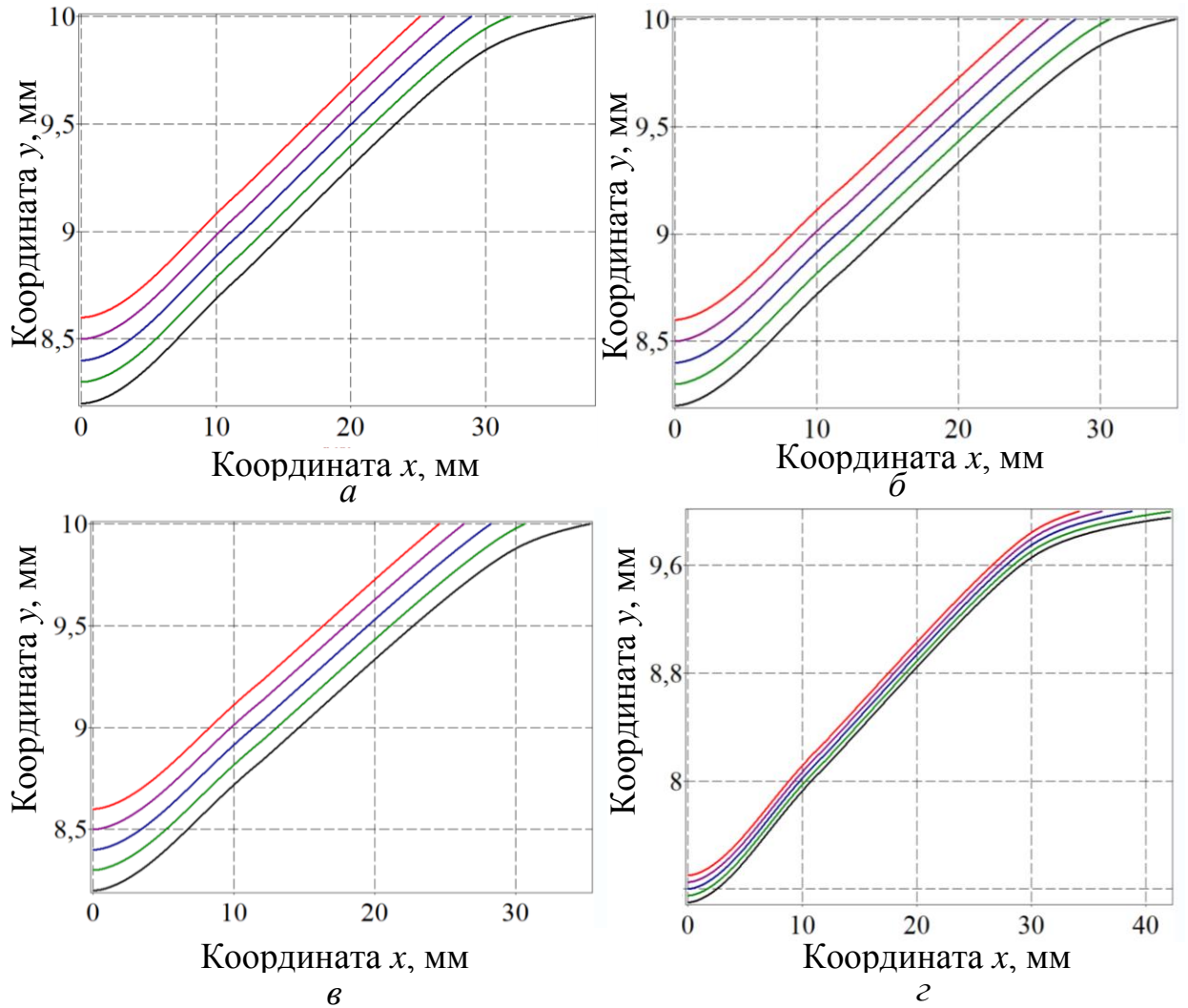


Рисунок 3.13 – Траектории частицы диаметром 0,1 мкм с начальными координатами от 8,2 до 8,6 мм (*a*), диаметром 0,3 мкм с начальными координатами от 8,2 до 8,6 мм (*б*), диаметром 0,5 мкм с начальными координатами от 8,0 до 8,6 мм (*в*), диаметром 0,8 мкм с начальными координатами от 7,1 до 7,3 мм (*г*) в зоне ионизации длиной 12 мм и в двух зонах осаждения длиной 15 мм каждая при скорости воздуха 1 м/с

Моделирование траектории движения частицы пыли в зонах электрофилтра показало, что увеличение скорости вентилятора с 0,7м/с до 1м/с приводит к снижению показателя P_D эффективности обеспыливания воздуха при однократном проходе с двумя зонами осаждения в среднем на 0,2 (таблица 3.1).

Для обеспечения эффективности обеспыливания свыше 0,9 и скорости воздуха 0,7м/с с учетом сопротивлений в помещении 20м³ необходим вентилятор с производительностью 100м³/ч и входное сечение установки 0,17×0,17м. (таблица 3.1, помещение 1), в помещении объемом 1260м³ необходимо применить 15 установок с производительностью вентиляторов до 200м³/ч и увеличенным входным сечением до 0,31×0,31м (таблица 3.1, помещение 2).

Из таблицы 3.1 также видно, что с увеличением размера частиц растет эффективность обеспыливания электрофилтра. В дальнейшем будем рассматривать размеры частиц 0,8мкм и меньше, так как именно такие частицы являются переносчиками вирусов, бактерий.

Расчетные значения показателя P_D эффективности в зависимости от диэлектрической проницаемости пыли по данным траекторий движения частицы пыли на рисунках 3.14..3.16 представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Расчетные значения показателя P_D эффективности по данным траекторий движения частицы на рисунках 3.10..3.13

Число зон осадения 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 $T=3ч$ (помещение 1)	Эффективность обеспыливания воздуха P_{DT} при $T=3ч$ (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

Таблица 3.2 – Расчетные значения показателя P_D эффективности в зависимости от диэлектрической проницаемости пыли по данным траекторий движения частицы пыли

Диэлектрическая проницаемость частицы пыли (ϵ_1)	Диаметр частицы D , мкм	Минимальная начальная координата y_{0D} , мм	Эффективность обеспыливания воздуха P_D , отн.ед.
2,5	0,1	7,1	0,29
	0,3	7,2	0,28
	0,5	6,6	0,34
	0,8	5,75	0,425
10	0,1	6,5	0,35
	0,3	6,4	0,36
	0,5	5,7	0,43
	0,8	2,9	0,71

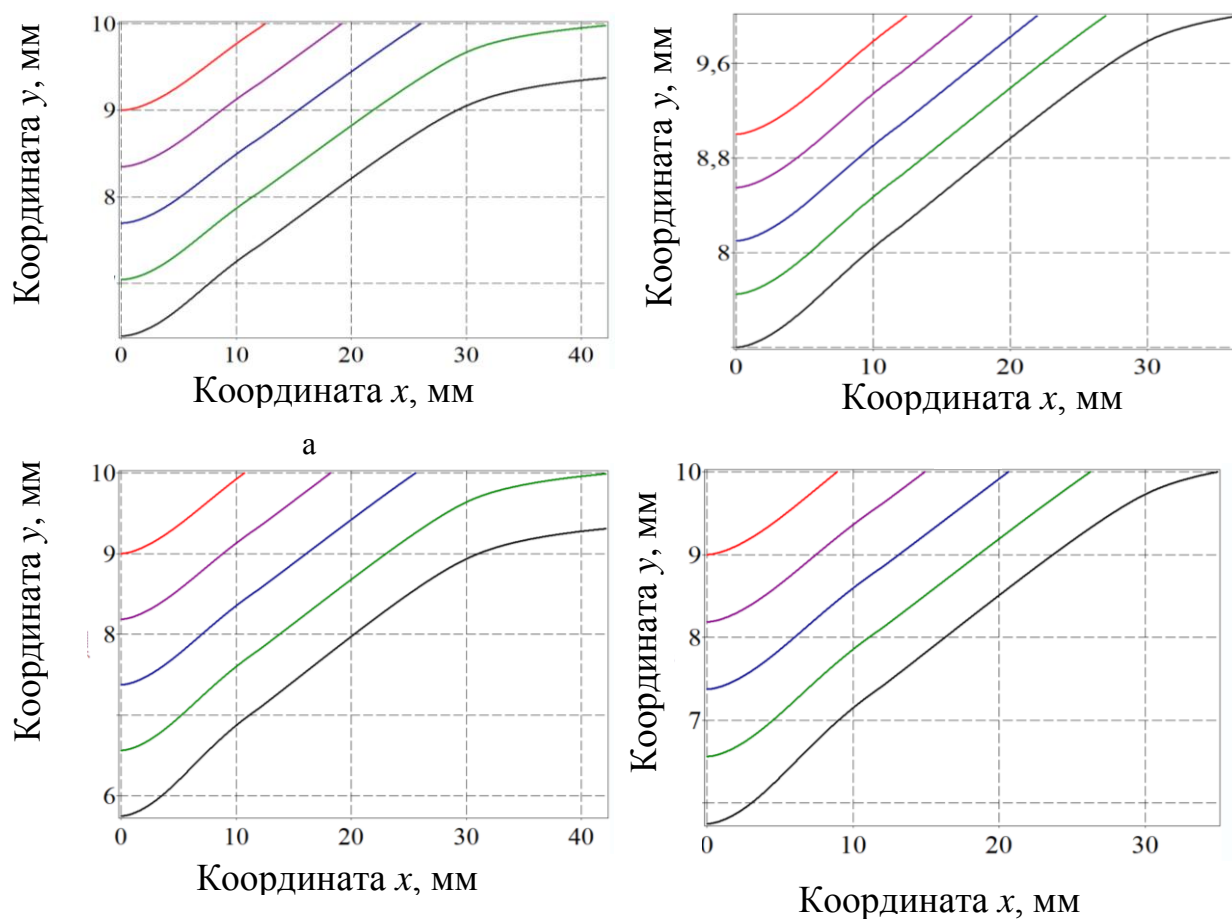


Рисунок 3.14 – Траектории частицы диэлектрической проницаемостью 2,5 и диаметром 0,1 мкм с начальными координатами от 6,39 до 9,0 мм (а), диаметром 0,3 мкм с начальными координатами от 7,2 до 9,0 мм (б), диаметром 0,5 мкм с начальными координатами от 5,75 до 9,0 мм (в), диаметром 0,8 мкм с начальными координатами от 5,75 до 9,0 мм (г) в зоне ионизации длиной 12 мм и в двух зонах осаждения длиной 15 мм каждая при скорости воздуха 0,7 м/с

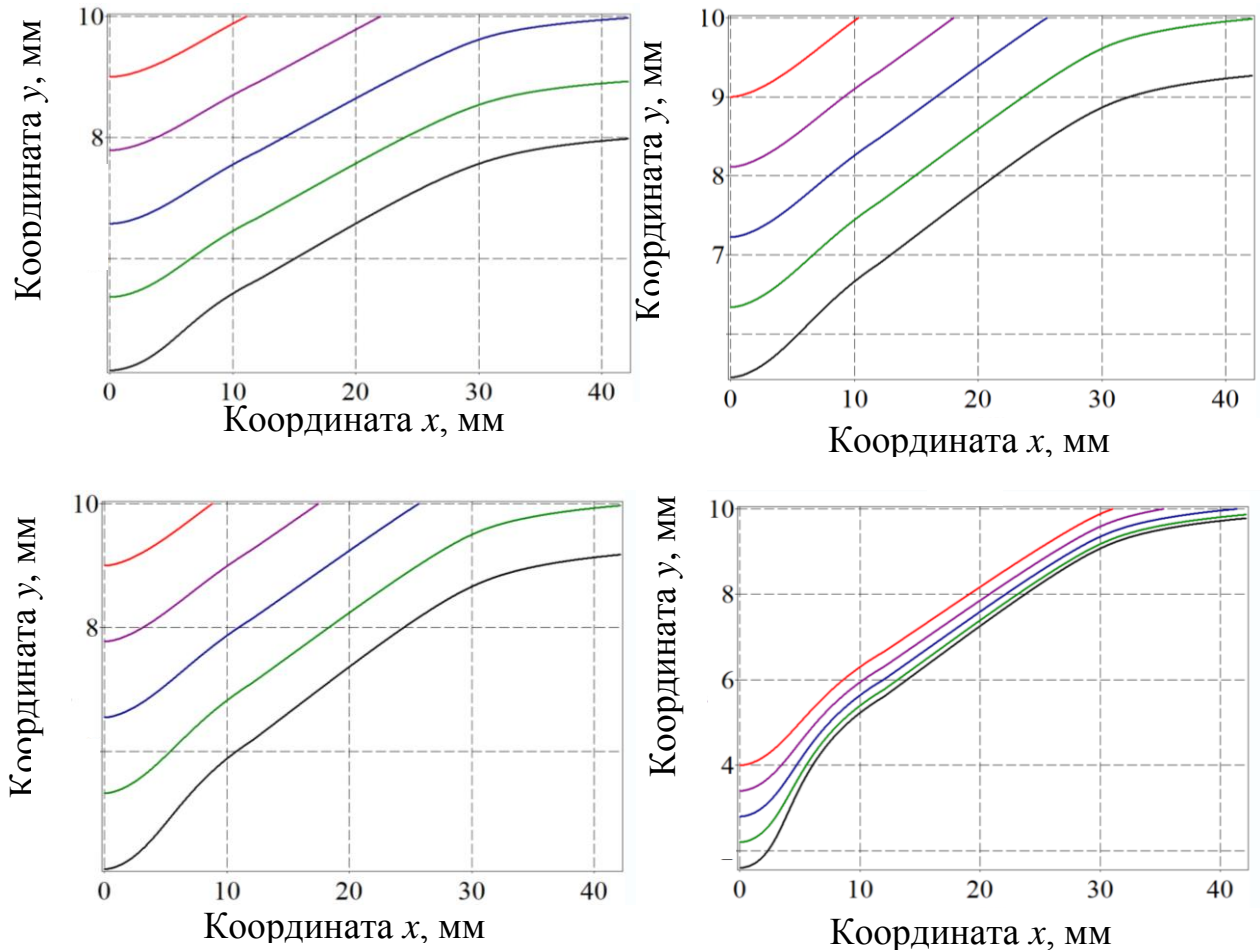


Рисунок 3.15 – Траектории частицы диэлектрической проницаемостью 10 и диаметром 0,1 мкм с начальными координатами от 4,15 до 9,0 мм (а), диаметром 0,3 мкм с начальными координатами от 5,45 до 9,0 мм (б), диаметром 0,5 мкм с начальными координатами от 4,1 до 9,0 мм (в), диаметром 0,8 мкм с начальными координатами от 1,5 до 4,0 мм (г) в зоне ионизации длиной 12 мм и в двух зонах осаждения длиной 15 мм каждая при скорости воздуха 0,7 м/с

Установлено, что эффективность обеспыливания растет с увеличением относительной диэлектрической проницаемости пыли (рисунок 3.16).



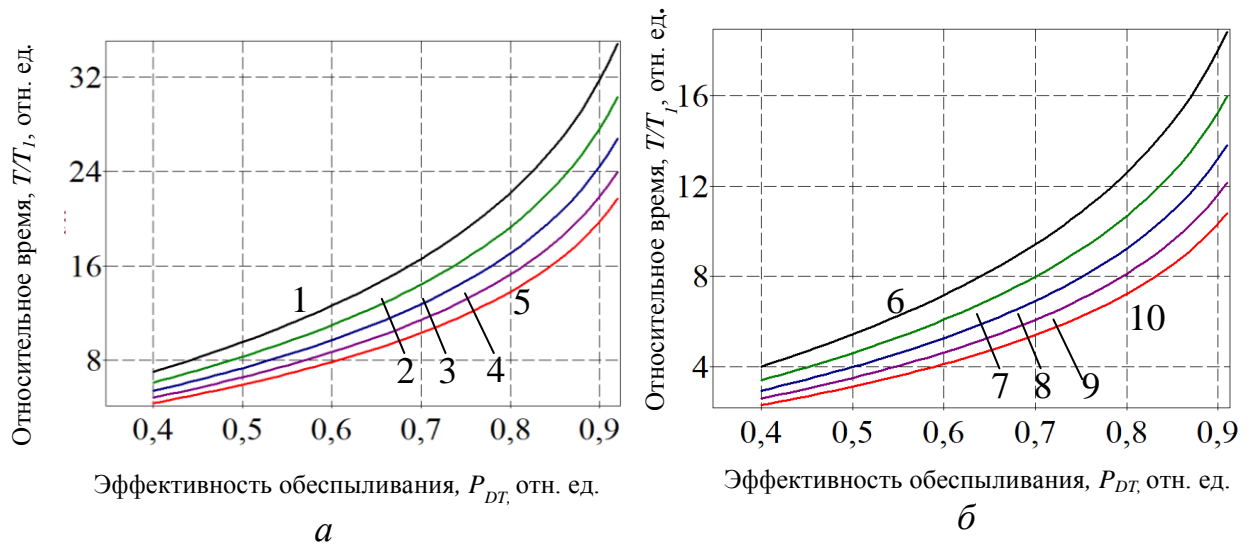
Рисунок 3.16 – Зависимость эффективности обеспыливания от относительной диэлектрической проницаемости частиц пыли

Относительная диэлектрическая проницаемость пыли в птичниках находится в пределах от 2,5 до 10 при этом эффективность обеспыливания меняется от 0,42 до 0,71 соответственно.

3.5 Оценка связи между показателем эффективности обеспыливания воздуха и временем работы электрофильтра

Формула (32) позволяет оценить время T обеспыливания воздуха по частицам заданного диаметра при малом воздухообмене с внешними объектами через отношение T/T_1 , если задан требуемый показатель P_{DT} эффективности обеспыливания воздуха и определен показатель P_D эффективности при однократном проходе частиц.

На рисунке 3.4.1 представлены номограммы, позволяющие оценить относительное время T/T_1 обеспыливания воздуха от пыли по заданному показателю P_{DT} эффективности и определенному показателю P_D эффективности при однократном проходе воздуха через электрофильтр.



1 – $P_D = 0,07$; 2 – $P_D = 0,08$; 3 – $P_D = 0,09$; 4 – $P_D = 0,10$; 5 – $P_D = 0,11$;

6 – $P_D = 0,12$; 7 – $P_D = 0,14$; 8 – $P_D = 0,16$; 9 – $P_D = 0,18$; 10 – $P_D = 0,20$

Рисунок 3.17 – Зависимости отношения T/T_1 от показателя P_{DT} при заданных значениях показателя P_D в пределах от 0,07 до 0,11 (а) и от 0,12 до 0,20 (б)

Показатель P_D электрофильтра с одной зоной осаждения при скорости воздушного потока 0,7 м/с для частиц диаметром 0,3 мкм, 0,5 мкм и 0,8 мкм равен соответственно 0,11, 0,13 и 0,16 (таблица 3.1). Относительное время T/T_1 , требуемое для улавливания 80% этих частиц, соответственно примерно равно 13, 11 и 7 (рис. 3.17). При скорости воздушного потока 1 м/с показатели P_D уменьшаются до 0,075, 0,085, 0,11, а относительное время увеличивается до 20, 17 и 13 соответственно. Таким образом, при увеличении скорости воздушного потока на 43% и вместе с этим снижением времени T_1 на 43%, относительное время T/T_1 для обеспечения того же качества обеспыливания увеличилось более чем на 50%, то есть общее время возросло. Таким образом, меньшая скорость воздушного потока 0,7 м/с обеспечивает меньшее время обеспыливания 80% частиц диаметром 0,3 мкм, 0,5 мкм и 0,8 мкм, чем скорость 1 м/с.

Можно видеть, что с увеличением показателя эффективности относительное время и время обеспыливания увеличиваются, при этом

быстрота увеличения относительного времени обеспыливания превосходит быстроту увеличения показателя эффективности.

Отметим, что при многократном воздухообмене показатель P_D возрастает с каждым проходом, и время, за которое показатель P_{DT} достигнет заданного значения, будет меньше расчетного. Это объясняется тем, что частицы пыли, не уловленные на втором и дальнейшем проходах, имеют больший заряд, так как при первом проходе их траектории располагались ближе к коронирующему электроду.

3.6 Определение режима работы комбинированной электроустановки

Время работы электроустановки зависит от объема помещения, производительности и эффективности данной установки [86]:

$$T = \frac{V_{\text{пом}}}{W * P_{DT}}, \quad (3.1)$$

Где $V_{\text{пом}}$ – объем помещения, м³;

W – производительность электроустановки, м³/ч;

P_{DT} – эффективность обеспыливания при многократном проходе через установку.

Зависимость времени работы от показателя эффективности по формуле (2.44) говорит о том, что с увеличением показателя эффективности время обеспыливания увеличиваются нелинейно (рис. 3.18), т.е. время увеличивается быстрее, чем эффективность обеспыливания.

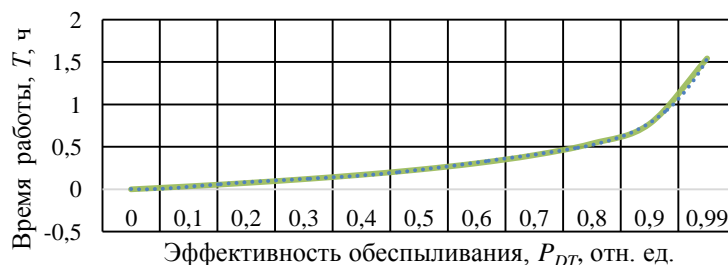


Рисунок 3.18 – Зависимости T от показателя P_{DT} при $P_D=0,45$, $T_1=0,2$ ч.

Необходимо учитывать, что эффективность обеспыливания замкнутого помещения со временем сначала будет расти, затем по мере осаждения пылевых частиц на осадительных электродах будет снижаться.

Количество установок, необходимое для эффективной очистки пыли будет зависеть от объема помещения, производительности установки и запыленности помещения [86]:

$$N_{\text{уст}} = \frac{V_{\text{пом}}}{W * T * k_{\text{в}} * k_{\text{ч}}}, \quad (3.2)$$

где $k_{\text{в}}$ - коэффициент воздухообмена;

$k_{\text{ч}}$ - коэффициент времени.

Зная эти параметры можно рассчитать количество установок и время их работы.

В малообъемном помещении до 50 м³, производительностью вентилятора до 100 м³/ч, времени работы установки 3 часа достаточно установить 1 комбинированную электроустановку.

При том же режиме работы установки в промышленном птичнике объемом до 1500 м³ производительностью вентилятора до 200 м³/ч, времени работы установки – 3 часа, необходимо установить 15 комбинированных установок.

Также необходимо учесть, что со временем осадительные электроды необходимо прочищать от осевшей пыли. Время между техническими обслуживаниями установки будет зависеть от запыленности помещения, объема помещения, времени работы установки:

$$T_{\text{то}} = \frac{V_{\text{пом}} * N_{\text{уст}}}{W}. \quad (3.3)$$

Экспериментальные данные в главе 4 показали, что в помещении объемом 20 м³ в течение 3 часов работы эффективность обеспыливания растет, затем практически не меняется. В течение 28 рабочих дней по 3 часа в сутки эффективность снижается, что говорит о необходимости проведения технического обслуживания.

3.7 Выводы по главе

1. Разработанная методика расчета максимальной напряженности электрического поля и максимального потенциала в зоне ионизации показала, что для межэлектродного расстояния 10мм необходимо поддерживать максимальную напряжённость 2900кВ/м и потенциал коронирующего электрода 1кВ.

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

3. Скорость воздушного потока 0,7 м/с имеет преимущество перед скоростью 1 м/с, обеспечивая меньшее время обеспыливания воздуха до одинакового показателя эффективности обеспыливания.

4. Разработанная методика расчета времени работы при требуемом показателе эффективности обеспыливания воздуха показала, что режим работы 3ч достаточен для поддержания показателя эффективности обеспыливания свыше 85% в помещении для содержания птицы.

4 РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ПТИЦЫ

Предложенная и разработанная система обеззараживания и обеспыливания воздуха, на основании исследований и расчетов во 2 главе, включает в себя следующие устройства:

- источник высокого напряжения;
- комбинированная электроустановка обеспыливания и обеззараживания воздуха;
- счетчик аэрозольных частиц.

4.1 Обоснование основных параметров

В известных исследованиях [19; 30] было установлено, что рациональное соотношение между электродным расстоянием h , мм и расстоянием между коронирующими электродами d , мм:

$$\frac{d}{h} = 1,9 \dots 2,1. \quad (4.1)$$

Используя формулу (4.1) и приняв расстояние между коронирующими электродами 20 мм, получим значение межэлектродного расстояния равное 10 мм.

С этой целью предлагается межэлектродные расстояния оставить стандартные, но увеличить зону осаждения, добавив в нее дополнительные осадительные пластины. Это позволит увеличить силу адгезии и повысить эффективность обеспыливания воздуха. Увеличение зоны осаждения также приведет к увеличению времени между очистками электродов от осевшей пыли.

Помещения для содержания птицы имеют различные размеры, объемы варьируются от 20м³ до нескольких тысяч кубометров. С этой целью предлагается в конструкции комбинированной электроустановки предусмотреть с учетом габаритов помещений:

- производительность вентилятора,

- мощность бактерицидной лампы;
- габариты электроустановки с учетом изменений размеров приборов.

Скорости обеспыливания воздушной среды в электрофильтре:

$$V=Su, \quad (4.2)$$

где S - входное сечение электрофильтра, m^2 , u - скорость воздушного потока, m/c .

Принимая сведения, что скорость воздушного потока в птицеводческих помещениях не должна превышать 1 м/с, увеличивая производительность вентилятора, необходимо увеличить входное сечение комбинированной электроустановки. Производительность вентилятора в птичниках рекомендуется устанавливать до $200m^3/ч$.

В таблице приведены основные параметры комбинированной электроустановки, рассчитанные для малообъемного помещения и промышленного птичника.

Таблица 4.1 – Технические характеристики предлагаемых установок

Тип установки	Габариты	U_k	$\Phi_{бк.}$	$Q_{вент}$	Тип лампы	P	Рекомендуемый объем помещения
Ед. изм.	м	кВ	Вт	$m^3/ч$	-	Вт	m^3
Лабораторная	0,17x0,17x0,6	11	4	100	ДРТ-125	150	10-40
Производственная	0,31x0,31x1,2	11	11	200	ДРТ-125	205	30-100

Электрофильтры для сельскохозяйственных помещений питаются от источника высокого напряжения по схеме импульсного генератора высоких напряжений (рисунок 4.1 [21]).

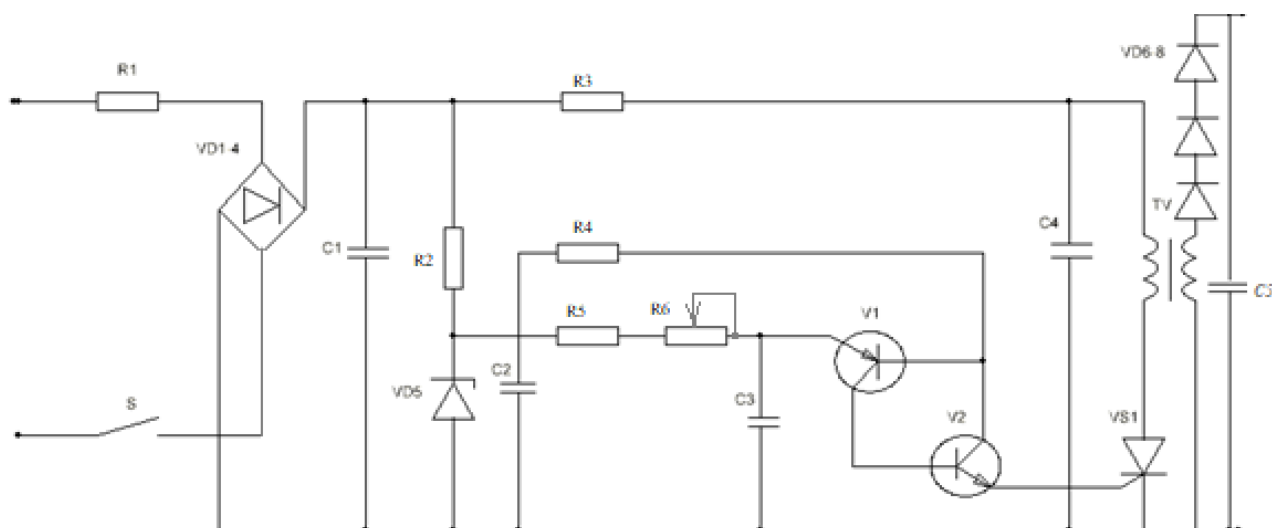


Рисунок 4.1 – Схема импульсного генератора высокого напряжения [21]

Для получения на выходе выпрямленного напряжения на вторичной обмотке трансформатора необходимо установить конденсатор керамический дисковый с емкостью 330пФ и напряжением 15кВ.

Измерение напряжения от источника импульсного генератора высокого напряжения приведено на рисунке 4.2.



а



б

а – минимальное выходное напряжение; б – максимальное входное напряжение

Рисунок 4.2 – Измерение выходного напряжений источника питания

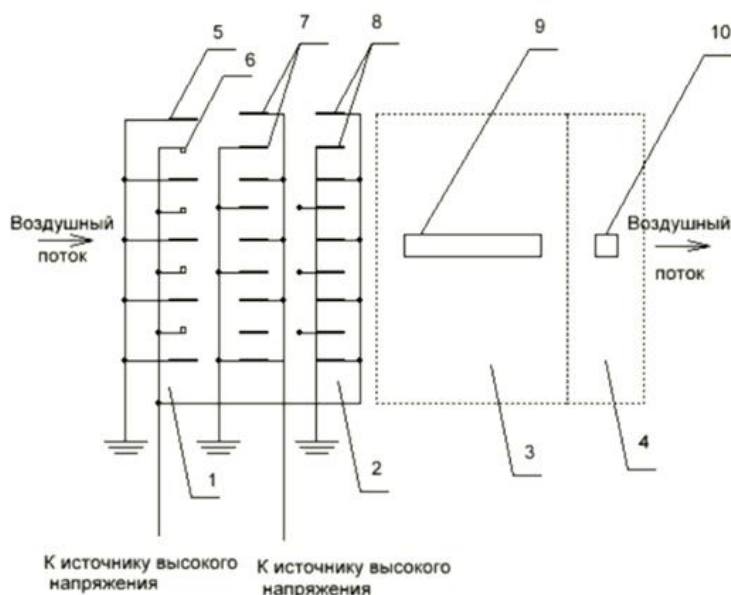
Наименьшее и наибольшее выдаваемое напряжение от источника высокого напряжения, собранного по схеме импульсного генератора высокого напряжения находится в пределах 1-25кВ (рисунок 4.2).

Установка должна проходить обязательное техническое обслуживание квалифицированным персоналом. Техническое обслуживание и техника безопасности при работе с установкой приведены в приложении Б.

4.2 Разработка комбинированной установки обеспыливания и обеззараживания воздуха

Комбинированная установка для обеспыливания и обеззараживания воздуха состоит из следующих зон (рисунок 4.3):

- 1) Зона ионизации;
- 2) Зона осаждения;
- 3) Зона бактерицидного излучения;
- 4) Озоноразрушающая зона.



- 1 – ионизатор; 2- осадитель; 3 – зона бактерицидного излучения;
 4 – озоноразрушающая зона; 5 – заземленный электрод ионизатора;
 6 – коронирующий электрод ионизатора; 7, 8 – электроды осадителя;
 9 – бактерицидная лампа; 10 – озоноразрушающая лампа

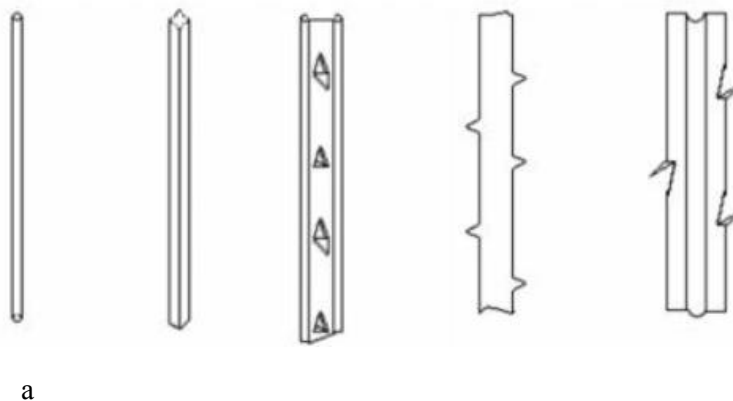
Рисунок 4.3 – Комбинированная электроустановка (вид сверху)

Игольчатая коронирующая система зоны зарядки электрофилтра представлена на рисунок 4.4. Расстояние между коронирующими электродами – 24 мм.



Рисунок 4.4 – Пластина с коронирующими и заземленными электродами

Примеры коронирующих электродов приведены на рисунке 4.5. Игольчатый электрод имеет заостренные выступы на боковых поверхностях игл, что позволяет увеличить разность потенциалов между электродами (рисунок 4.5, в [91]).



- а – провод диаметром 1,5...2,2 мм; б – элемент штыкового сечения;
 в – ленточно-игольчатый элемент; г – ленточно-зубчатый элемент;
 д – элемент типа СФ-1

Рисунок 4.5 – Коронирующие электроды [91]

Зона осаждения представлена на рисунке 4.6 и представляет собой раму с металлическими пластинами (рис. 4.6). Расстояние между электродами – 15 мм. В ходе эксперимента планируется исследовать влияния различного количества рам осадительных пластин на степень эффективности обеспыливания воздуха.



Рисунок 4.6 – Пластина с осадительными электродами

Третья зона – зона бактерицидного излучения, состоит из бактерицидной лампы. В данной зоне используются бактерицидные лампы, излучающие ультрафиолетовый свет с жестким диапазоном, который разрушает структуру ДНК бактерий и вирусов [99].

Сфера использования бактерицидных ламп расширяется – чистый воздух нужен и в птицеводческих помещениях с целью уничтожения микроорганизмов, которые легко передаются воздушно-капельным путем. При использовании необходимо помнить о мерах безопасности: обязательно защищать глаза и кожу во избежание ожогов.

Лампа бактерицидная ультрафиолетовая Osram HNS (рис. 4.7) является лампой низкого давления из увиолевого стекла, служащих для обеззараживания воздуха и воды. Применяется в различных установках.



Рисунок 4.7 – Бактерицидная ультрафиолетовая лампа низкого давления

Бактерицидная ультрафиолетовая лампа низкого давления выбиралась по таким показателям как стоимость приобретения и бактерицидный поток. Выбрана лампа фирмы Philips модели TUV PL-L 95W/4P.

Для производственных птичников с объемом помещений свыше 1000м^3 необходимо увеличить мощность бактерицидной лампы. В промышленных птичниках широко использовались установки ОЗУФ, которые в настоящее время не выпускаются, с бактерицидными лампами ДКБ-36.

Четвертая зона – озоноразрушающая, состоит из лампы ДРТ-125 (рисунок 4.8).

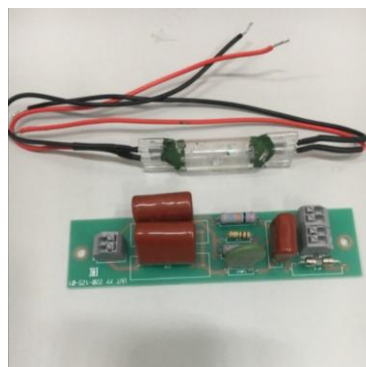


Рисунок 4.8 – Лампа ДРТ-125 и устройство управления UVT УУ 220-125-01

Лампа бактерицидная ДРТ-125 с балластом применяется в аппаратах Солнышко ОУФк-01, ОУФд-01 и т.п. Основные параметры ламп приведены в источнике [95].

Средний КПД УФ излучения составляет 10% от общего излучения (рисунок 4.9) [84].

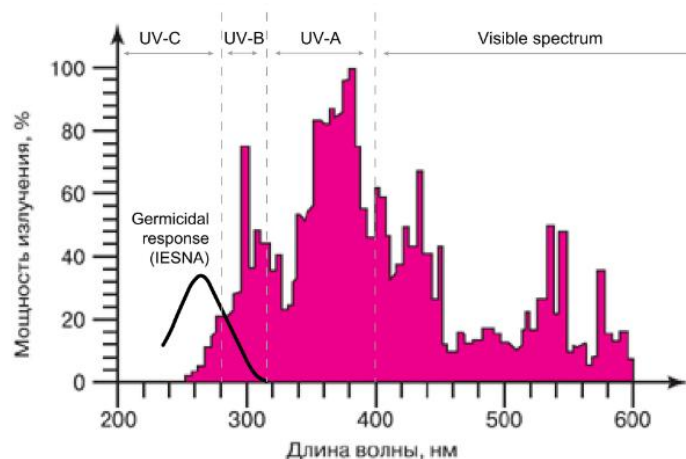


Рисунок 4.9 – Спектр дуговой ртутной лампы высокого давления [84]

Достоинство этих ламп состоит в том, что они при небольших габаритах имеют большую единичную мощность, но обладают низкой бактерицидной отдачей и малым сроком службы до 1000 ч. Кроме того, нормальный режим горения наступает через 5-10 минут после их зажигания.

Основные характеристики лампы ДРТ125-1 приведены в таблице 4.2 [44]:

Таблица 4.2 – Технические параметры лампы ДРТ125-1 [44]

Параметр	Значение
Напряжение питания (В)	220
Частота тока (Гц)	50
Мощность лампы после 10 ч горения, номинальная (Вт)	125 (не более 132)
Напряжение зажигания лампы (В)	не более 198
Время зажигания (мин)	не более 1
Напряжение на лампе, номинальное (В)	95 (допустимое 70–110)
Сила электрического тока (А)	1,6
Световой поток, номинальный (лм)	1850 (не менее 1730)
Продолжительность горения, (ч)	1000
Рабочее положение	произвольное
Размеры длина/диаметр	135/22
Распределение (%) УФ-излучения бактерицидной лампы ДРТ 125-1 по областям А, В, С	область А (UVA, UV-A, УФ-А), 315–400 нм — не более 21% область В (UVB, UV-B, УФ-В), 280–315 нм — не более 25% область С (UVC, UV-C, УФ-С), 230–280 нм — не более 11%

Вентиляторы выбирались по подходящим размерам и производительности. Технические параметры вентиляторов представлены в источниках [57; 12].

С учетом того, что комбинированная электроустановка предназначена для работы малообъемном помещении до 20м^3 , вентилятор подойдет марок Aerocool Shark»Evil Black Edition», Scythe Grand Flex PWM или ВН-2-220.

Для производственных птичников необходимо увеличить производительность вентилятора до $200\text{м}^3/\text{ч}$, например, выбрать вентилятор ВО-2,0.

Для контроля концентрации пылевых частиц в воздухе птицеводческого помещения используется датчик пыли (рисунок 4.10 [102]), который установлен на выходе электроустановки.



Рисунок 4.10 – Датчик пыли Dust Sensor [102]

Dust Sensor – это простой монитор воздуха (датчик пыли) на базе GP2Y1010AU0F, хорошо обнаруживает частицы диаметром более 0.8мкм , даже сигаретный дым. Низкое энергопотребление, аналоговый выход. Датчики этого типа широко применяются в качестве детекторов $\text{PM}_{2.5}$ частиц, воздухоочистителях, кондиционерах, мониторах воздуха и т.д.

Технические характеристики [102]:

- Чувствительность: $0.5\text{В}/(100\text{мкг}/\text{м}^3)$;
- Диапазон измерения: $500\text{мкг}/\text{м}^3$;
- Напряжение питания: $2.5\text{В} \dots 5.5\text{В}$;

- Рабочий ток: 20мА(max);
- Рабочая температура: -10°С...+65°С;
- Размеры: 63.2×41.3×21.1 мм;
- Размер монтажного отверстия: 2.0мм;
- Размер отверстия для воздуха: 9.0мм.

При помощи датчика пыли можно контролировать режима работы комбинированной электроустановки, определять время очистки осадительных электродов.

4.3 Выводы по главе

1. Были обоснованы основные технические характеристики комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха в лабораторном и малообъёмном помещении, а также в производственном птичнике.

2. Были выбраны основные элементы электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха птицеводческих помещений, а именно:

- источник высокого напряжения по схеме генератора высоких импульсов, который позволит получать выпрямленное регулируемого напряжение на электродах установки до 25 кВ;

- коронирующие металлические электроды, имеющие заостренные выступы на боковых поверхностях игл, что позволяет увеличить разность потенциалов между электродами;

- зона осаждения представляет собой раму с металлическими или пластинами. Межэлектродное расстояние – 12 мм. В ходе эксперимента планируется исследовать влияния различного количества рам осадительных пластин на степень эффективности обеспыливания воздуха, а также различное значение приложенного напряжения на осадительные электроды;

- лампа бактерицидная ультрафиолетовая, являющаяся лампой низкого давления из увиолевого стекла, служащих для обеззараживания воздуха и воды.

- лампа ДРТ-125, которые при небольших габаритах имеют большую единичную мощность, но обладают низкой бактерицидной отдачей и малым сроком службы до 1000 ч. Максимальная спектральная мощность приходится на длину волны порядка 350 нм. Данные лампы имеют озоноразрушающее воздействие, что важно при работе электрофильтров в присутствии птиц и человека.

5 ИСПЫТАНИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

5.1 Лабораторные эксперименты разработанной комбинированной электроустановки, их результаты и анализ

Программа экспериментальных исследований

Программа лабораторных экспериментальных исследований включает:

1) Исследование зависимости эффективности обеспыливания воздуха в комбинированной электроустановке:

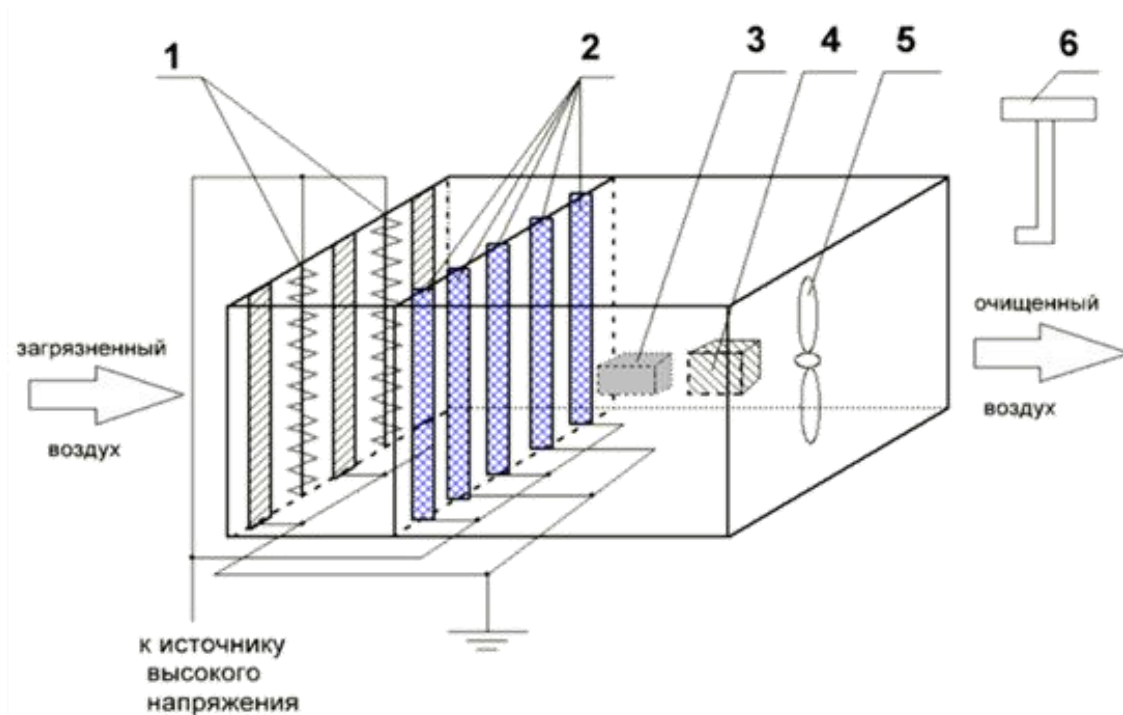
1.1) от размеров пылевых частиц;

1.2) от различных параметров зоны осаждения;

2) Исследование концентрации озона на выходе комбинированной электроустановке.

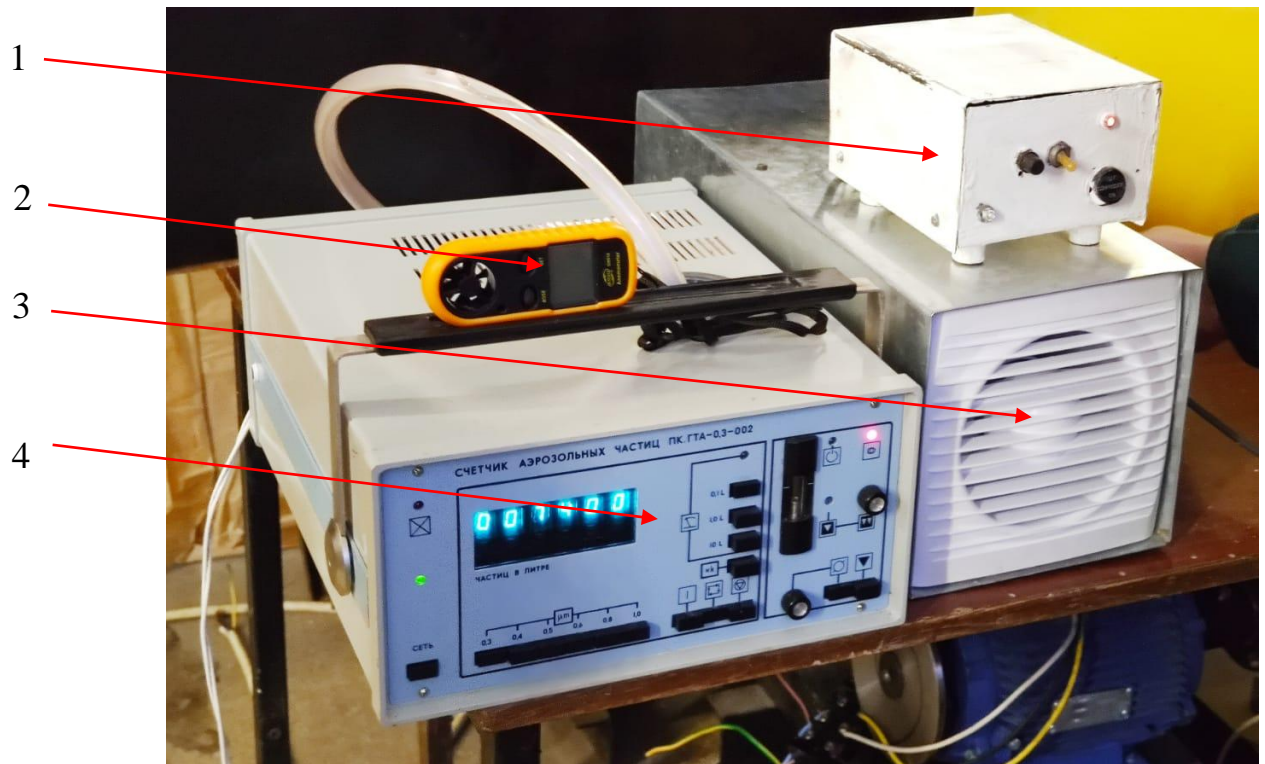
Описание экспериментального стенда

Экспериментальный стенд представлен на рисунках 5.1 и 5.2.



1 – коронирующие электроды; 2 – осадительные электроды; 3 – бактерицидная лампа; 4 – вентилятор; 5 – счетчик аэрозольных частиц ПК.ГТА-0,3-002

Рисунок 5.1 – Схема экспериментального стенда с одной зоной осаждения



1 – источник высокого напряжения; 2 – анемометр; 3 – комбинированная электроустановка; 4 – счетчик аэрозольных частиц ПК.ГТА-0,3-002

Рисунок 5.2 – Проведение лабораторных испытаний

Методики проведения лабораторных испытаний комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха описаны в работах [73; 74; 75; 76]. Напряжение на комбинированный электрофильтр подается выпрямленное в диапазоне от 3 до 25кВ (рисунок 5.3)

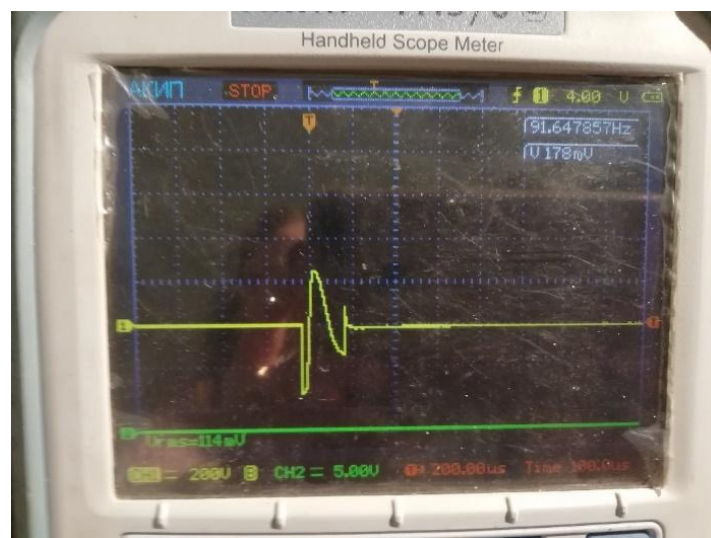


Рисунок 5.3 – Осциллограмма выходного напряжения

1) Исследование эффективности обеспыливания

1.1) Исследование эффективности обеспыливания от размера пылевых частиц

Результаты исследования эффективности обеспыливания воздуха от размера пылевых частиц

Результаты исследований опубликованы в работах [73; 74; 75; 76].

На рисунке 5.4 представлены результаты замеров концентрации пылевых частиц размером 0,3...0,8 мкм.

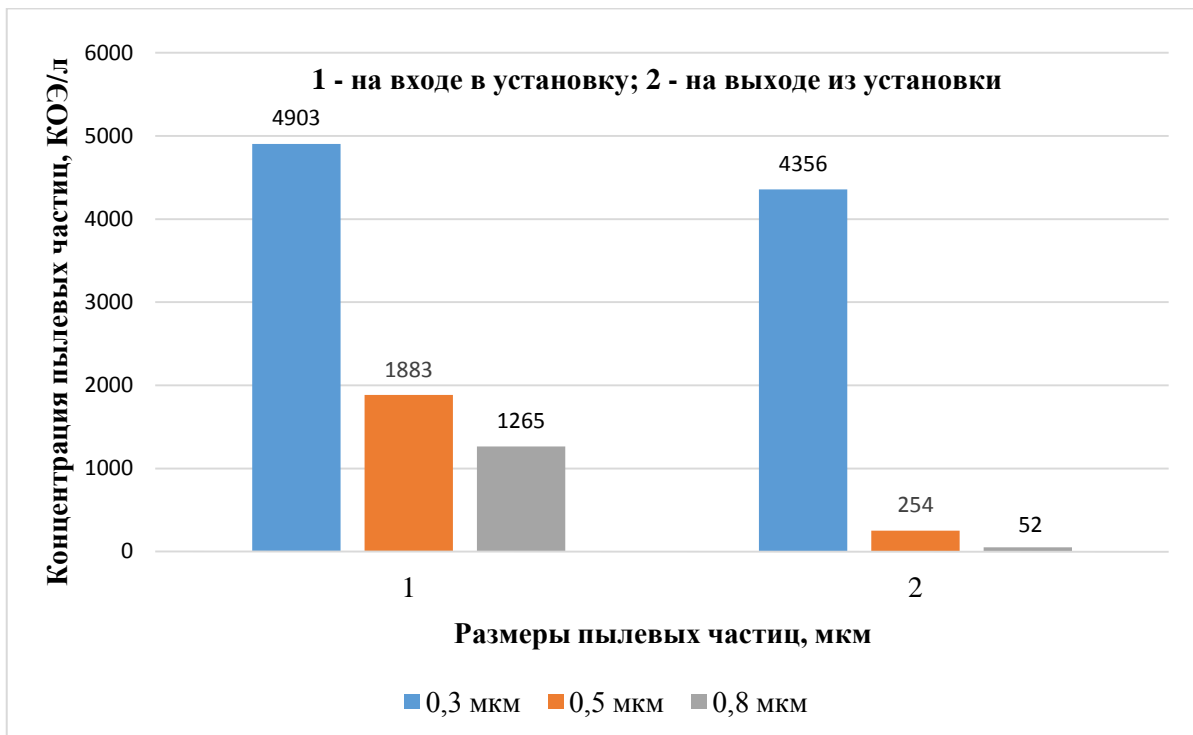


Рисунок 5.4 – Результаты замеров концентрации пылевых частиц размером 0,3 мкм, 0,5 мкм и 0,8 мкм на входе и на выходе установки

По формуле (2.36) была рассчитана эффективность обеспыливания воздуха. Результаты расчета эффективности обеспыливания воздуха от пылевых частиц размером 0,3...0,8 мкм приведены на рисунке 5.5.

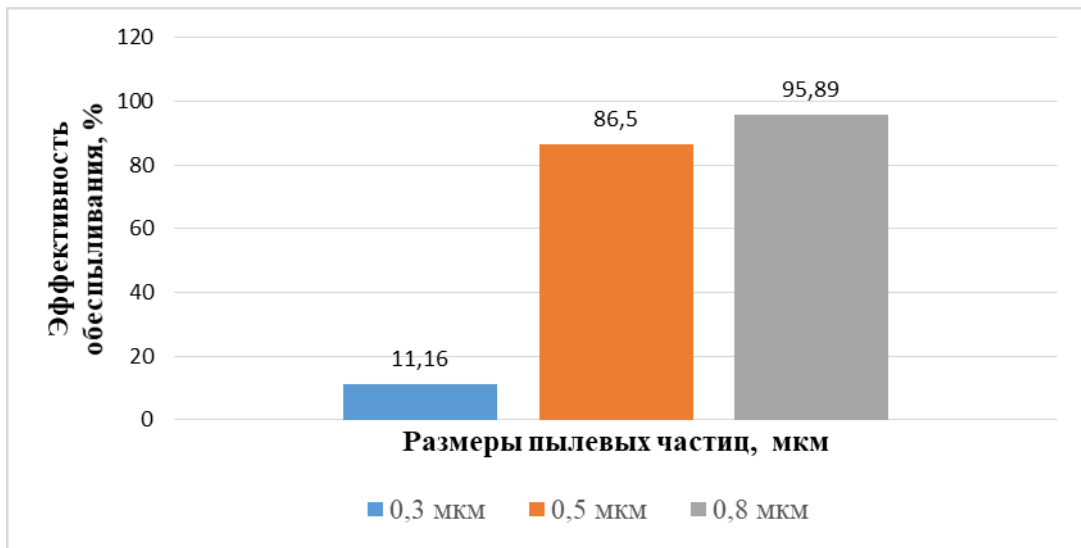


Рисунок 5.5 – Эффективность обеспыливания воздуха от пылевых частиц размером 0,3 мкм, 0,5 мкм и 0,8 мкм

Комбинированная электроустановка имеет эффективность обеспыливания от частиц размером от 0,5 мкм свыше 86 %, и чуть более 11% от частиц 0,3 мкм. Для повышения эффективности улавливания частиц 0,3 мкм предлагается изменить конструкцию установки, увеличив зоной осаждения.

1.2) Исследование эффективности обеспыливания воздуха комбинированным электроустановкой с увеличенной зоной осаждения

Доработанная конструкция электрофильтра имеет две одинаковые зоны осаждения с аналогичными размерами электродов и приложенным напряжением. Суммарная длина озоны осаждения составит 30 мм. На рисунке 5.6 представлены результаты эксперимента по исследованию зависимости эффективности обеспыливания воздуха от пылевых частиц комбинированной электроустановкой с двумя зонами осаждения.

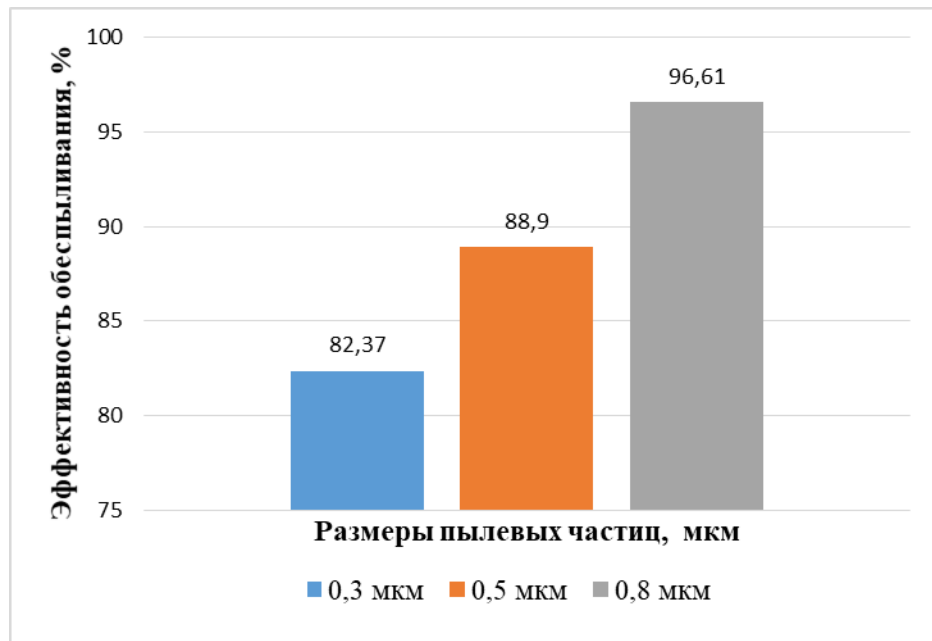


Рисунок 5.6 – Эффективность обеспыливания воздуха в зависимости от размеров частиц пыли на выходе комбинированной электроустановки

Комбинированный электрофильтр с увеличенной зоной осаждения имеет эффективность обеспыливания от пылевых частиц размером от 0,3 до 0,5 мкм в среднем 89%, что обеспечивает эффективную очистку воздуха птичников от пыли.

2) Исследование концентрации озона на выходе комбинированной электроустановки

В лабораторных условиях была исследована концентрация озона на выходе комбинированной электроустановки с выключенной лампой ДРТ и с включенной лампой.

Результаты и ход эксперимента приведены на рис. 5.7 и 5.8.

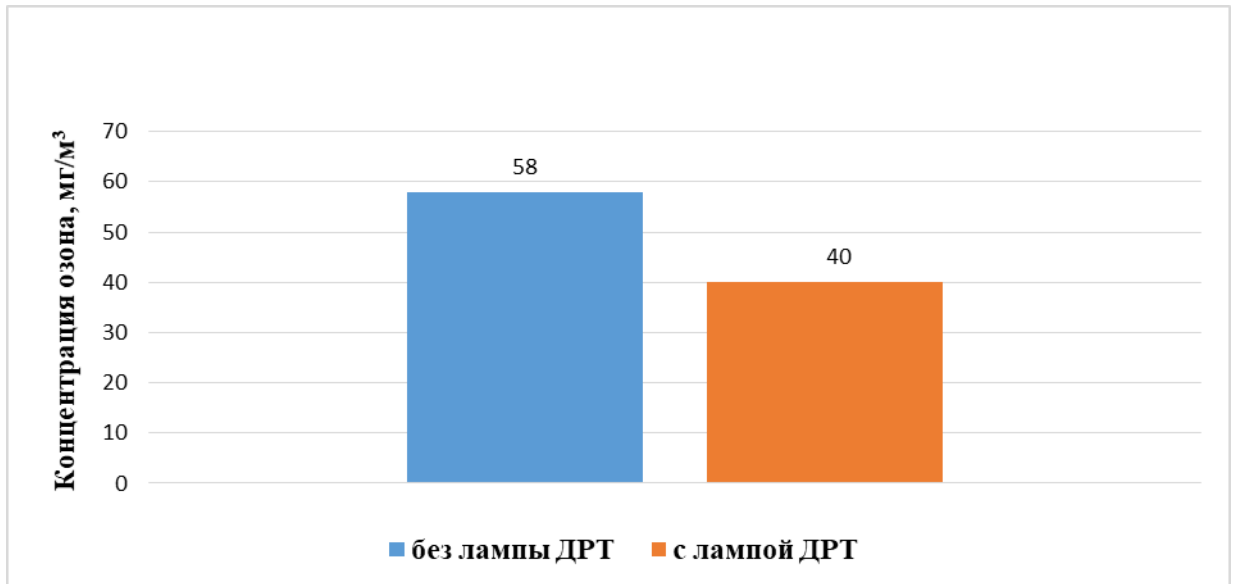
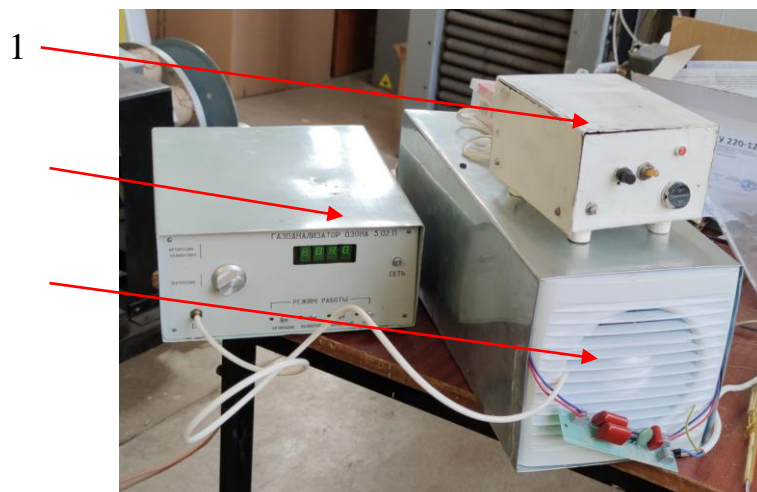


Рисунок 5.7 – Концентрация озона в зависимости от режимов работы электроустановки



1 – источник высокого напряжения; 2 – газоанализатор озона 3.02. П; 3 – комбинированная электроустановка

Рисунок 5.8 – Исследование концентрации озона на выходе электроустановки в зависимости от режима работы

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.

5.2 Испытания комбинированной электроустановки в боксе с птенцами перепелов, их результаты и анализ

1) Исследование зависимости эффективности обеспыливания воздуха в комбинированной электроустановке:

- от размеров пылевых частиц;
- от времени работы.

2) Исследование зависимости эффективности обеззараживания воздуха в комбинированной электроустановке:

- от микроорганизмов и вредных газовых составляющих;

3) Провести испытания влияния обеспыливания и обеззараживания воздуха на живую массу.

Методика и результаты испытаний полностью приведены в работе [92].

Испытания комбинированной электроустановки в боксе с птенцами перепелов было проведено на базе учебно-производственного птичника (приложение В). Испытания проводились на 2 групп птенцов перепелок по 35 штук в каждой группе.

Содержание птенцов напольное в помещении размером 310x268 см высотой 280 см. Установка находилась в центре помещения с птенцами перепелов на высоте 1м от пола.

Первое исследование было проведено по выявлению запыленности помещения. Результаты и ход эксперимента отражены на рисунке 5.9 и 5.10.

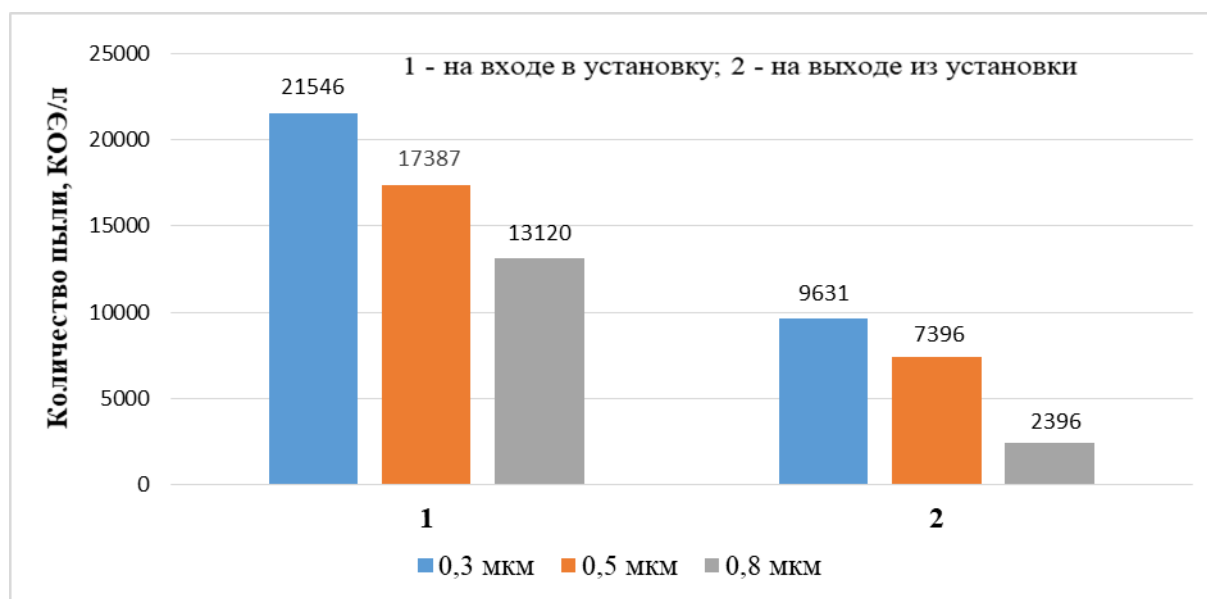
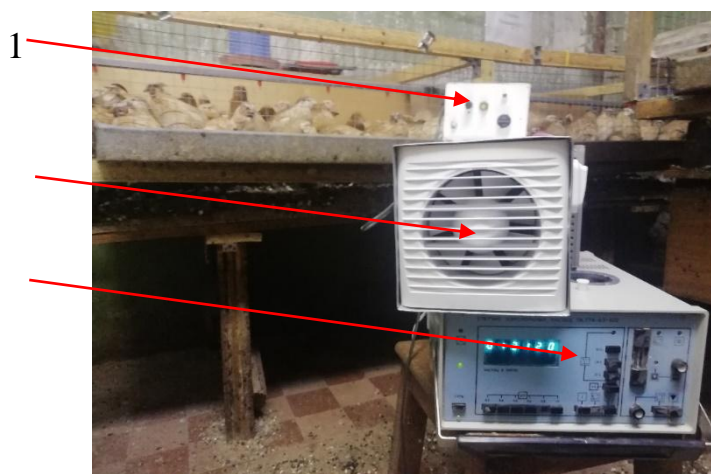


Рисунок 5.9 – Количество пылевых частиц в зависимости от их размеров через 1 час работы электроустановки



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

Рисунок 5.10 – Проведение испытаний электроустановки в птицеводческом помещении

На рисунке 5.11 представлены результаты эксперимента по исследованию зависимости эффективности обеспыливания воздуха помещения комбинированной электроустановкой с двумя зонами осаждения через 1 час работы.

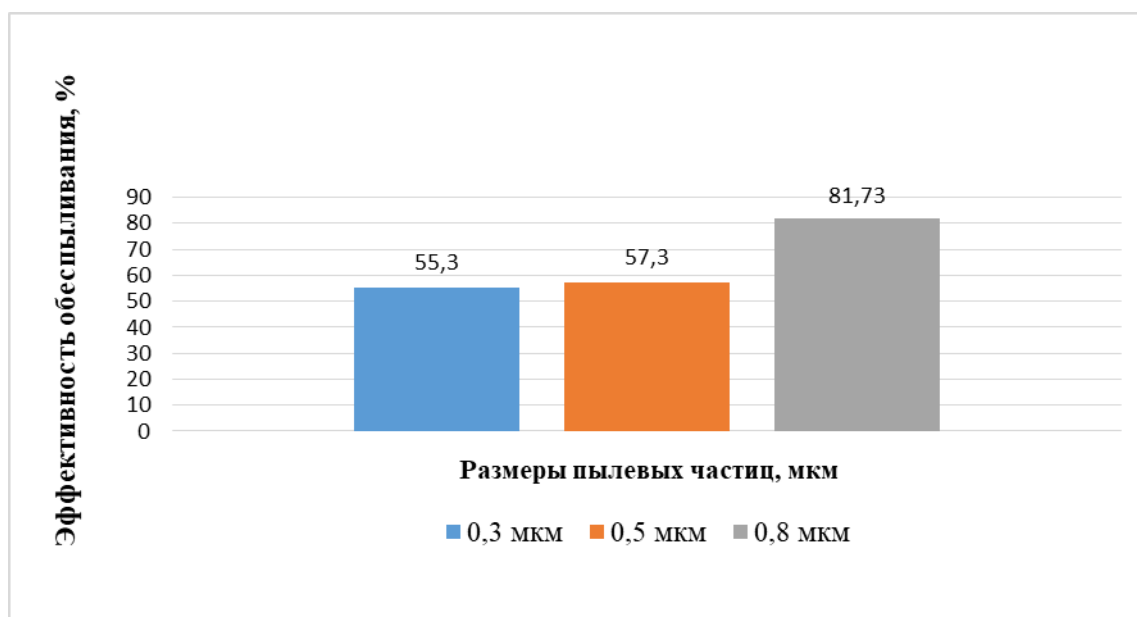


Рисунок 5.11 – Эффективность обеспыливания воздуха в боксе с птенцами перепелов в зависимости от размеров частиц на выходе комбинированной электроустановки через 1 час работы

Результаты показали, что эффективность обеспыливания через 1 час работы составила в среднем 65%.

Для установки оптимального режима работы комбинированной электроустановки были произведены замеры концентрации пылевых частиц через 1 час работы в течении 4 часов. Результаты эффективности обеспыливания от частиц разного диаметра представлены ниже на рисунке 5.12-5.14.

Из графиков исследования эффективности обеспыливания от времени работы (рисунки 5.12-5.14) следует, что оптимальный режим работы комбинированной электроустановки составляет 1 часа, затем эффективность обеспыливания растет незначительно.

Экспериментальные данные исследования эффективности обеспыливания сравнивались с теоретическими, погрешность методики составила 23% для частиц 0,3 мкм, 22,3% для частиц 0,5 мкм и 9,1% для частиц 0,8 мкм. Средняя погрешность методики – 18,15%.

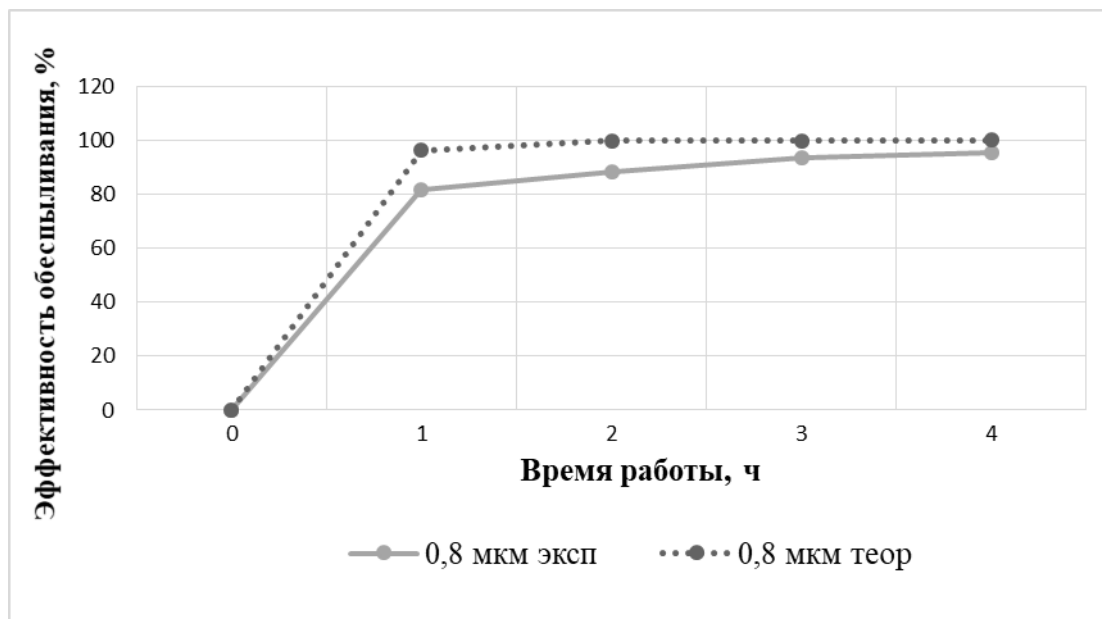


Рисунок 5.12 – Теоретические и экспериментальные данные эффективности обеспыливания воздуха от частиц 0,8 мкм в зависимости от времени работы электроустановки

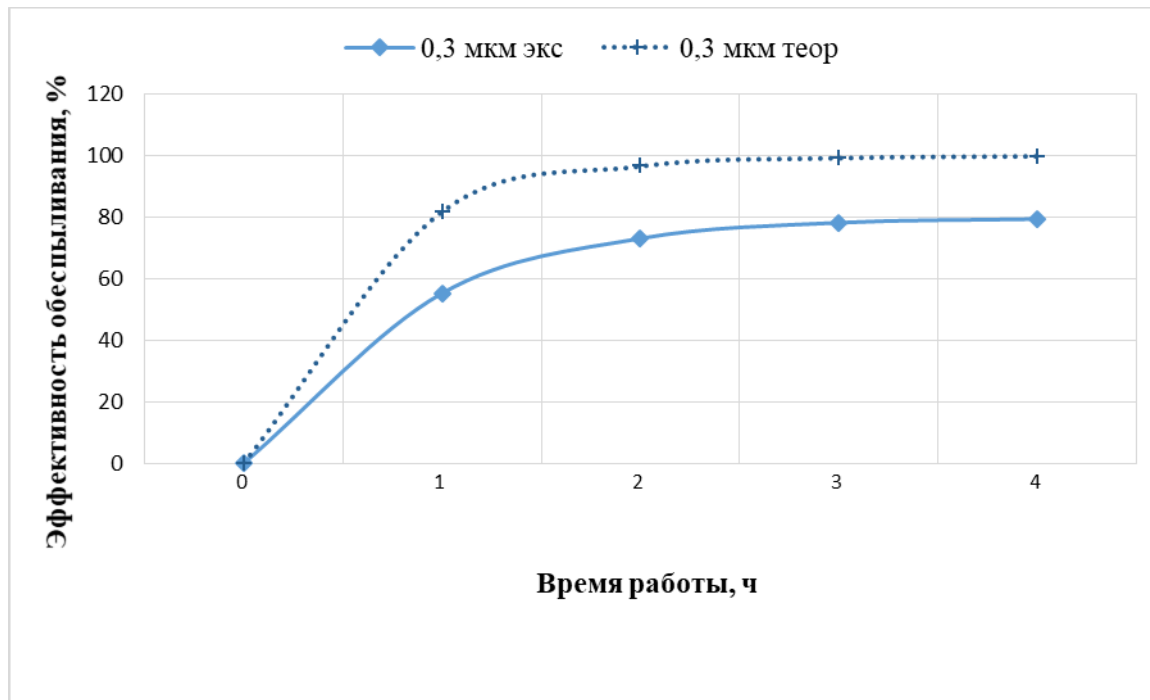


Рисунок 5.13 – Теоретические и экспериментальные данные эффективности обеспыливания воздуха от частиц 0,3 мкм в зависимости от времени работы электроустановки

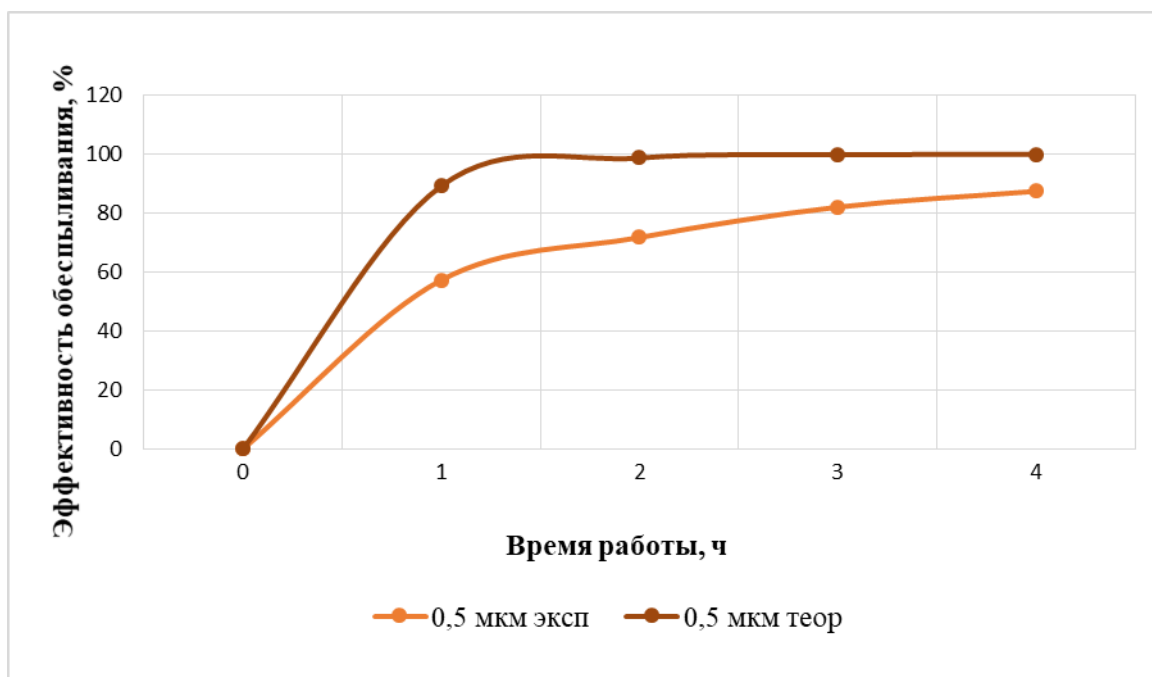


Рисунок 5.14 – Теоретические и экспериментальные данные эффективности обеспыливания воздуха от частиц 0,5 мкм в зависимости от времени работы электроустановки

На рисунке 5.15-5.17 приведена зависимость концентрация пылевых частиц в боксах с перепелами на протяжении 28 дней.

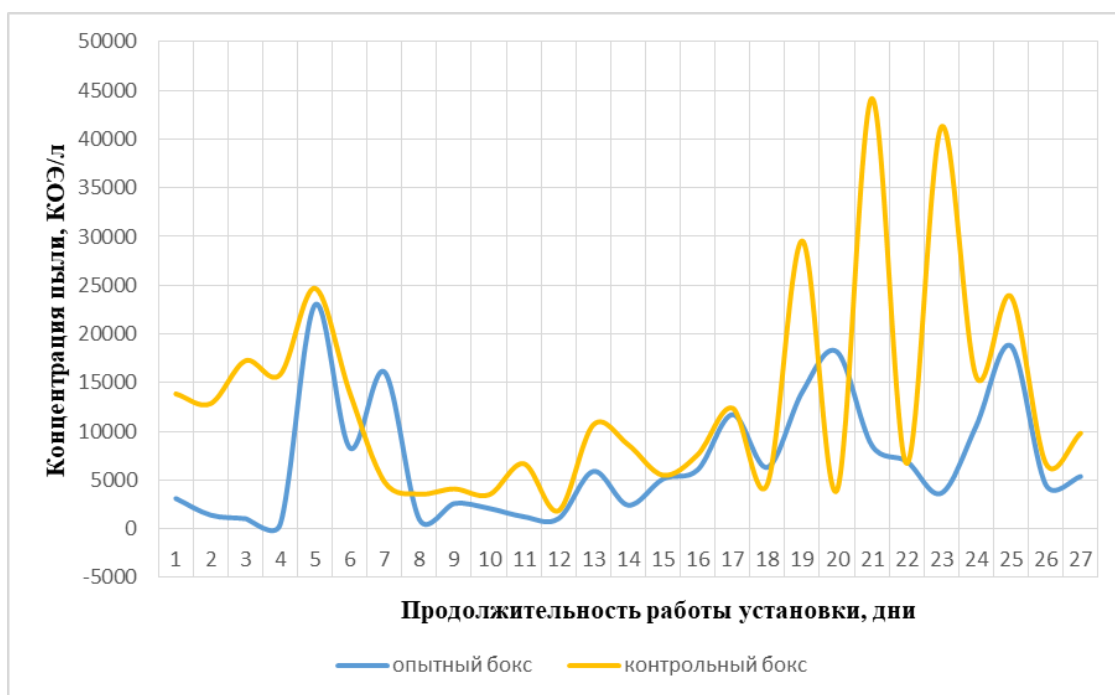


Рисунок 5.15 – Зависимость концентрации пыли 0,3 мкм от продолжительности работы установки в опытном и контрольном боксах



Рисунок 5.16 – Зависимость концентрации пыли 0,5 мкм от в опытном и контрольном боксах



Рисунок 5.17 – Зависимость концентрации пыли 0,3 мкм от в опытном и контрольном боксах

Из рисунков 5.15-5.17 следует, что вне зависимости от размеров пылевых частиц в боксе с электроустановкой для обеспыливания и обеззараживания воздуха концентрация пыли снижается.

Из рисунка 5.18 следует, при работе комбинированной электроустановки в течение 1 часа 3 раза в день (6-7ч, 12-13ч, 18-19ч) на 19 день в контрольном боксе концентрация пыли превышает ПДК, на 28 сутки концентрация пылевых частиц возрастает в обоих боксах, что говорит, о необходимости проведения очистки осадительных электродов от осевшей пыли.



Рисунок 5.18 – Зависимость концентрации пыли от продолжительности работы электроустановки в опытном и контрольном боксах

На рисунках 5.19-5.20 представлены результаты исследований микроорганизмов (бактерий групп кишечных палочек, стафилококки), и аммиака в опытном и контрольном боксах. Исследования были проведены на 4 день работы электроустановки в опытном боксе. Результаты данных испытаний представлены в приложении Г.

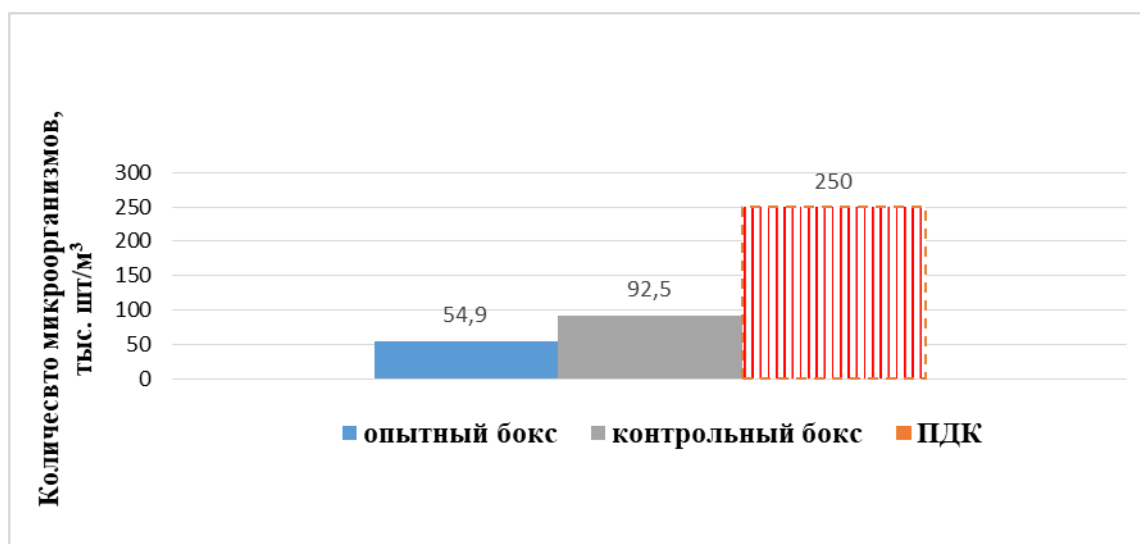


Рисунок 5.19 – Количество микроорганизмов в опытном и контрольном боксах

Результаты по микроорганизмам показали, что в опытном боксе бактерицидная обсеменённость снизилась до 0,78 от ПДК.

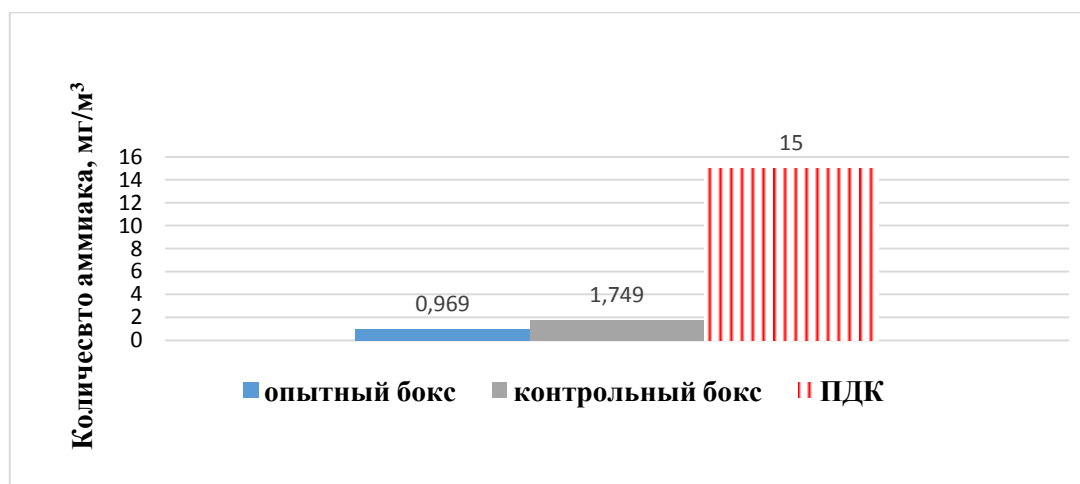


Рисунок 5.20 – Количество аммиака в опытном и контрольном боксах

Результаты по наличию аммиака в воздухе боксов показали, что в опытном боксе концентрация снизилась на 3 день работы электроустановки почти на 45%.

Влияние обеспыливания и обеззараживания воздуха на живую массу

Результаты влияния работы комбинированной электроустановки на живую массу птицы на примере боксов с птенцами перепелов отражены на рисунке 5.21.

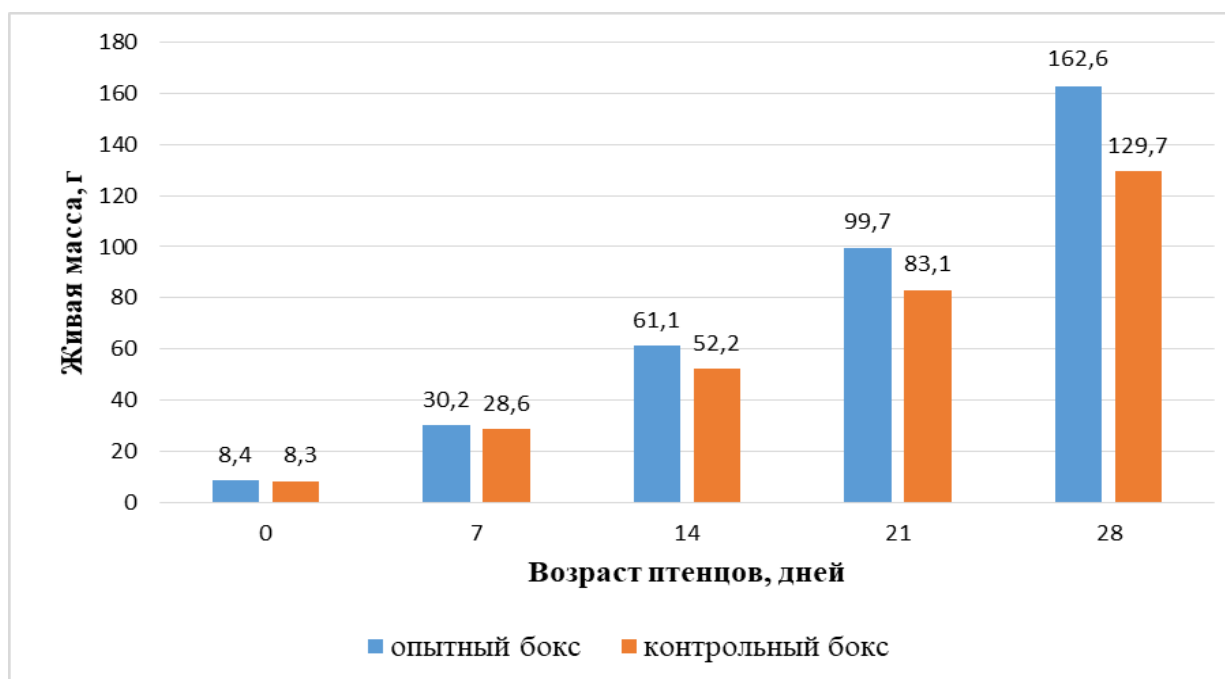


Рисунок 5.21 – Влияние обеспыливания и обеззараживания воздуха на живую массу птенцов перепелов

Использование разработанной комбинированной электроустановки позволило увеличить прирост живой массы перепелов относительно прототипа на контрольных отметках на 28 день на 20,3 %.

5.3 Техничко–экономическая оценка применения комбинированной электроустановки

Экономическая оценка комбинированной электроустановки рассчитывается по методике, представленной в источниках [90; 28; 58].

Техничко-экономическая оценка сравнения комбинированной электроустановки с ОЗУФ и приточно-вытяжной системой вентиляции приведена в таблице 5.3. Оценка рассчитывалась по методике применения ОЗУФ, которая в настоящее время серийно не выпускается, с учетом того, что в разрабатываемой установке применена аналогичная бактерицидная лампа и та же 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 5.2).

На основе формулы (3.3) расчета количества электроустановок для обеспыливания в помещении определяем, что в птичнике 1260м^3 площадью 450м^2 и производительностью вентилятора $200\text{м}^3/\text{ч}$ необходимо установить 15 комбинированных установок с входным сечением $0,31\times 0,31\text{м}$. Установки расположены на высоте 2м от пола в 3 ряда с шагом между рядами в 1,5м и шагом 9м между установками в ряду (рисунок 5.22).

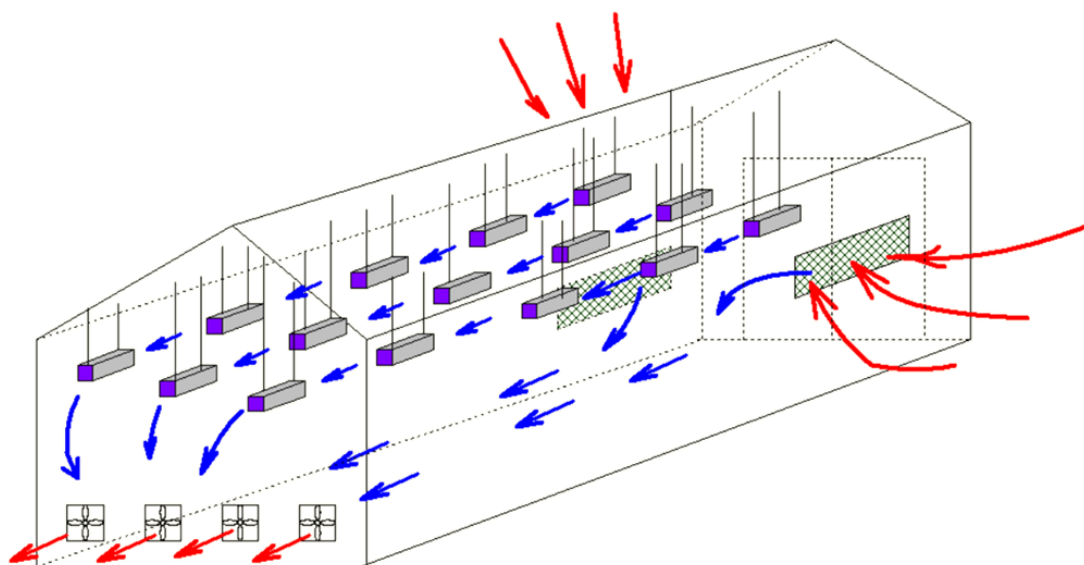


Рисунок 5.22 – Схема расположения комбинированных электроустановок в птичнике

Разработанная электроустановка имеет следующие преимущества перед традиционной системой микроклимата:

1. Оказывает эффективное обеспыливание воздуха;
2. Оказывает эффективное обеззараживание воздуха.

Разработанная электроустановка имеет следующие преимущества перед установкой ОЗУФ:

1. Оказывает эффективное обеспыливание воздуха;
2. Сокращение трудовых затрат на очистку ламп от пыли.

Источником прибыли к традиционной приточно-вытяжной системе вентиляции является привес птицы и уменьшение падежа, обусловленные эффективным обеспыливанием и обеззараживанием воздуха.

Источником прибыли к установке ОЗУФ является сокращение трудовых затрат на техническое обслуживание установки в связи с увеличенными интервалами между очистками бактерицидных ламп от пыли.

Разница стоимости сравниваемой установки ОЗУФ с комбинированной электроустановкой, РС, руб:

$$PC = C_{КЭл} - C_{ОЗУФ}, \quad (5.1)$$

где $C_{КЭл}$ – общая цена комбинированной электроустановки, руб.;

$C_{ОЗУФ}$ – общая цена ОЗУФ, руб ($C_{ОЗУФ} = 5900$ руб).

Стоимость комбинированной установки получим по следующей формуле:

$$C_{КЭл} = C_{корп} + C_{электр} + C_{ивн} + C_{вент} + C_{лампы} + C_{раб} \quad (5.2)$$

где $C_{корп}$ – стоимость корпуса, руб.;

$C_{электр}$ – стоимость электродов зон ионизации и осаждения, руб.;

$C_{ивн}$ – стоимость источника высокого напряжения, руб.;

$C_{вент}$ – стоимость вентилятора, руб.;

$C_{лампы1}$ – стоимость бактерицидной лампы, руб.;

$C_{лампы2}$ – стоимость озоноразрушающей лампы, руб.;

$C_{раб}$ – стоимость сборки, монтажа, транспортировки и проверки, руб.;

$$C = 1100 + 500 + 3000 + 2000 + 2000 + 1000 + 950 = 10550 \text{ руб.}$$

$$PC = 10550 - 5900 = 4650 \text{ руб.}$$

Средняя заработная плата одному работнику за месяц работы в базовом варианте №2 и проектном варианте составляет 30тыс. руб. График работы – суточный, поэтому на 4 работников заработная плата составит 120тыс руб. Электротехнический персонал обслуживает весь парк электрооборудования в птичнике.

Рассчитаем необходимое время на одну комбинированную электроустановку. На ежедневное включение и выключение необходимо 4 минуты. Время на проверку работы электроустановок по 2 мин в день на 1

изделие, на очистку осадительных электродов от пыли по 10 мин 1 раз в 30 дней или 0,33 мин в день.

Общее время, затраченное на ремонт оборудования, составит:

$$T = T_{л} + T_{па} + T_{пик} + T_{в} + T_{эл}. \quad (5.3)$$

где $T_{л}$ – замена ламп, руб.;

$T_{па}$ – замена пускорегулирующей аппаратуры, руб.;

$T_{пик}$ – замена патрубков и коммутации, руб.;

$T_{в}$ – замена вентилятора, руб.;

$T_{эл}$ – замена электродов, руб.

Найдём общее время на ремонт комбинированной электроустановки по уравнению (5.3) с учетом, что время на замену ламп – 10 мин, пускорегулирующей аппаратуры – 5 мин, патрубков и коммуникации – 5 мин, вентилятора – 5 мин:

$$T_{КЭЛ} = 10 + 5 + 10 + 5 + 5 = 35 \text{ мин. за год}$$

Среднее время трудозатрат на обслуживание электроустановки:

$$t_{обс} = N \cdot T_{КЭЛ} / n, \quad (5.4)$$

где N – количество установок, шт.,

n – количество месяцев в году.

Среднее время трудозатрат на обслуживание комбинированной электроустановки (5.4):

$$t_{обсКЭЛ} = 15 \cdot 35 / 12 = 43,75 \text{ мин} = 0,729 \text{ ч.}$$

Трудоемкость в месяц на включение, выключение, переключение и проверку электроустановки:

$$t_{вкл.вык.} = 30,5 \cdot T_{вкл \text{ и } выкл} \cdot T_{пров}, \quad (5.5)$$

Месячная трудоемкость на включение, выключение, переключение и проверку 15 комбинированных электроустановок (5.5):

$$t_{вкл.вык. КЭЛ} = 30,5 \cdot (4 + 2,33 \cdot 15) = 1188 \text{ мин.} = 19,8 \text{ ч.}$$

Полное время, необходимое на обслуживание, включения, выключения, переключения и проверку электроустановки, в месяц:

$$t_{общ} = t_{обс} + t_{в.вык.пр}, \quad (5.6)$$

Полное время, необходимое на обслуживание, включения, выключения, переключения и проверку 15 комбинированных электроустановок, в месяц (5.6):

$$t_{\text{общКЭл}} = 0,729 + 19,8 = 20,5 \text{ ч.}$$

Рассчитаем необходимое время на одну установку ОЗУФ. На ежедневное включение и выключение необходимо 4 минуты. Время на проверку работы электроустановок по 2 мин в день на 1 изделие, на очистку ламп от пыли по 8 мин 1 раз в день.

Общее время, затрачиваемое на ремонт ОЗУФ с учетом, что время на замену ламп – 3,3 мин, пускорегулирующей аппаратуры – 2,5 мин, патрубков и коммуникации – 5 мин, вентилятора – 5 мин, составит (5.3):

$$T_{\text{ОЗУФ}} = 3,3 + 2,5 + 5 + 5 = 15,8 \text{ мин. за год}$$

Среднее время трудозатрат на обслуживание установки ОЗУФ (5.4):

$$t_{\text{обсОЗУФ}} = 27 \cdot 15,8 / 12 = 35,55 \text{ мин} = 0,593 \text{ ч.}$$

Трудозатраты на включение, выключение, переключение проверку 27 установок ОЗУФ за месяц (5.5):

$$t_{\text{вкл.вык. ОЗУФ.}} = 30,5 \cdot (4 + 10 \cdot 27) = 8329,6 \text{ мин.} = 138,8 \text{ ч.}$$

Полное время, затрачиваемое на обслуживание, включения, выключения, переключения и проверку 27 установок ОЗУФ, в месяц (5.6):

$$t_{\text{общОЗУФ}} = 0,593 + 138,8 = 139,4 \text{ ч.}$$

Средняя часовая заработная плата обслуживающего электрооборудование персонала:

$$CP = ЗП / ВР, \quad (5.7)$$

где ВР – количество часов в месяце, ч. (732 часа).

$$CP = 120000 / 732 = 163,9 \text{ руб./ч.}$$

Заработную плату персонала:

$$З_{\text{зп}} = CP \cdot t_{\text{общ}}, \quad (5.8)$$

Из уравнения (5.8) найдем оплату персонала за обслуживание 15 комбинированных электроустановок:

$$З_{\text{зпКЭл}} = 163,9 \cdot 20,5 = 3365 \text{ руб./мес.}$$

Из уравнения (5.8) найдем оплату персонала за обслуживание 27 ОЗУФ:

$$З_{зпОЗУФ}=163,9 \cdot 139,4=22846,5 \text{ руб./мес.}$$

В таблице 5.1 приведены полученные результаты себестоимости и заработной платы персонала, а также стоимость и потребляемая электроэнергия для 27 установок ОЗУФ и 15 комбинированных электроустановок.

Таблица 5.1 – Сравнение основных показателей ОЗУФ и комбинированных электроустановок

N п/п	Наименование показателей	Единица измерения	ОЗУФ (27шт)	Комбинированная электроустановка (15 шт)
1	2	3	4	5
2	Цена, Ко	Руб.	159300	158250
3	Потребляемая энергия, Пэл	кВт ч	0,1	0,205
4	Стоимость 1кВт·ч	руб.	6,0	6,0
5	Месячная заработная плата обслуживающего персонала, Зп	руб.	22846,5	3365

Амортизационные отчисления за год:

$$З = Ц \cdot g \cdot a/100, \quad (5.9)$$

где Ц – себестоимость 27 установок ОЗУФ или 15 комбинированных электроустановок, руб.

a – годовая норма амортизационных отчислений, %.

g – коэффициент, выражающий затраты на транспортировку.

Найдём амортизационные отчисления за год на 15 комбинированных электроустановок:

$$З_{КЭЛ}=158250 \cdot 1,2 \cdot 16,6/100= 31523,4 \text{ руб.}$$

Найдём амортизационные отчисления за год на 27 установок ОЗУФ:

$$З_{ОЗУФ}=159300 \cdot 1,2 \cdot 16,6/100= 31732,6 \text{ руб.}$$

Капиталовложения в установку:

$$Кв = Ц \cdot P, \quad (5.10)$$

где P – коэффициент, выражающий затраты на транспортировку.

Найдём капиталовложения на 15 комбинированных электроустановок:

$$Кв_{КЭЛ}= 158250 \cdot 1,4 = 221550 \text{ руб.}$$

Найдём капиталовложения на 27 установок ОЗУФ:

$$K_{B_{OЗУФ}} = 159300 \cdot 1,4 = 223020 \text{ руб.}$$

Затраты на ремонт (Зр):

$$Зр = K_{B_{OЗУФ}} \cdot Нр.о / 100. \quad (5.11)$$

где Нр.о – норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание, %.

Посчитаем затраты на ремонт 15 комбинированных электроустановок:

$$Зр_{KЭЛ} = 221550 \cdot 13 / 100 = 28801 \text{ руб.}$$

Затраты на ремонт 27 установок ОЗУФ:

$$Зр_{OЗУФ} = 223020 \cdot 13 / 100 = 28993 \text{ руб.}$$

Зарплата персонала за год:

$$З_{ЗП} = З_{М} \cdot 12. \quad (5.12)$$

Годовая заработная плата для проектного варианта:

$$З_{ЗП_{KЭЛ}} = 3365 \cdot 12 = 40380 \text{ руб.}$$

Годовая заработная плата для базового варианта №2:

$$З_{ЗП_{OЗУФ}} = 22846,5 \cdot 12 = 274158 \text{ руб.}$$

Годовая стоимость потребления электроэнергии (ЗЭн):

$$З_{ЭН} = C \cdot P_{ЭЛ} \cdot T_{ч}. \quad (5.13)$$

Посчитаем годовую стоимость потребления электроэнергии для 15 комбинированных электроустановок, принимая что установки работают 3 часа в день, 6 технологических циклов выращивания бройлеров по 49 дней выращивания птицы:

$$З_{ЭН_{KЭЛ}} = 60,20515 \cdot 3 \cdot 49 \cdot 6 = 16272 \text{ руб.}$$

Посчитаем годовую стоимость потребления электроэнергии для 27 установок ОЗУФ в год, принимая что установки работают 3 часа в день, 6 технологических циклов выращивания бройлеров по 49 дней выращивания птицы:

$$З_{ЭН_{OЗУФ}} = 60,127 \cdot 3 \cdot 49 \cdot 6 = 14288,4 \text{ руб.}$$

Текущие затраты на эксплуатацию электроустановок:

$$З_{Э} = З_{ЗП} + З_{Зр} + З_{ЭН}. \quad (5.14)$$

Текущие затраты на эксплуатацию 15 комбинированных электроустановок (5.14):

$$З_{\text{КЭЛ}}=40380+31523 + 28801 +16272=116976 \text{ руб.}$$

Текущие затраты на эксплуатацию 27 установок ОЗУФ (5.14):

$$З_{\text{ОЗУФ}}=274158+31732,6 + 28993 +14288,4 =349172 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты:

$$З_{\text{пр}}=З_{\text{э}}+E_{\text{н}} \cdot K_{\text{в}}, \quad (5.15)$$

где $E_{\text{н}}$ – норматив приведения единовременных затрат и результатов.

Посчитаем приведенные затраты на 15 комбинированных электроустановок:

$$З_{\text{пр КЭЛ}}= 116976 +0,25 \cdot 158250 = 156538,5 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты на 15 ОЗУФ:

$$З_{\text{пр ОЗУФ}}= 349172 +0,25 \cdot 159300 = 388997 \text{ руб.}$$

Найдем количество дополнительно продукции, получаемой за год при внедрении 15 комбинированных электроустановок в птичник. С учетом равенств процентов привесов и падежа количество дополнительной продукции в проектном и базовом варианте №1 будет совпадать.

Годовое количество продукции:

$$Q=N_{\text{пт}} \cdot K \cdot C, \quad (5.16)$$

где Q – количество годовой продукции, кг/год;

$N_{\text{пт}}$ – количество птиц, гол.;

K – количество партий за год, шт;

C – живая масса одного бройлера 40 дн., кг.

Количество продукции в проектном варианте и базовом варианте №2:

$$Q_{\text{КЭЛ}}=8858 \cdot 6 \cdot 2,285=121440 \text{ кг.}$$

Количество продукции в базовом варианте №1:

$$Q_{\text{баз}}=8731 \cdot 6 \cdot 2,200=115248 \text{ кг.}$$

Дополнительный доход от увеличения продукции:

$$Q_{\text{дэ}}=(Q_{\text{КЭЛ}}-Q_{\text{баз}}) \cdot З_{\text{ц}}, \quad (5.17)$$

где $З_{\text{ц}}$ - цена оптовой закупки тушки бройлера, руб.

$$Q_{\text{дэ}}=(121440-115248) \cdot 120= 743040 \text{ руб.}$$

В таблице 5.2 сведены полученные результаты расчетов по 3 вариантам.

Таблица 5.2 – Экономическая эффективность применения комбинированной электроустановки

№ п/п	Показатели	Базовый вариант №1 (приточно-вытяжная система вентиляции)	Базовый вариант №2 (ОЗУФ)	Проектный вариант
1.	Затраты на модернизацию, руб.	-	159300	158250
2.	Расходы на доставку оборудования, руб.	-	23895	23737,5
3.	Расходы на монтаж и наладку оборудования, руб.	-	39825	39562,5
4.	Оплата за обслуживание и ремонт, руб/год	-	28993	28801
5.	Затраты на амортизационные отчисления, руб/год	-	31732,6	31523
6.	Годовая зарплата персонала, руб./год	-	274158	40380
7.	Потребление электроэнергии, руб./год	-	14288,4	16272
8.	Количество цыплят бройлеров, гол.	9000	9000	9000
9.	Процент привеса, %	-	3,89	3,89
10.	Процент падежа, %	2,99	1,58	1,58
11.	Живая масса 1 бройлера 40 дн, г	2200	2285	2285
12.	Падеж, гол.	269	142	142
13.	Товарное количество бройлеров, гол.	8731	8858	8858
14.	Количество произведенной продукции, кг/партия	19208	20240	20240
15.	Количество годовой произведенной продукции, кг	115248	121440	121440
16.	Общий привес продукции, кг/партия	-	1032	1032
17.	Общий годовой привес продукции, кг	-	6192	6192
18.	Цена реализации, руб.	120	120	120
19.	Выручка от дополнительного привеса и уменьшения падежа, руб./партия	-	123840	123840
20.	Годовая выручка от дополнительного привеса и уменьшения падежа, руб./год	-	743040	743040
21.	Годовой экономический эффект, руб.	-	393868	626064
22.	Годовой экономический эффект на 1 установку, руб.	-	14587,7	41737,6
23.	Скор окупаемости, год	-	0,57	0,36

Расчетный срок окупаемости от внедрения 15 комбинированных электроустановок в птичнике на 9000 голов бройлеров составит 0,36 года, годовая выручка – 626 тыс. рублей по сравнению со стандартной методикой выращивания птицы (базовый вариант №1) за счет увеличения привеса птицы и уменьшения падежа. Годовая выручка проектного варианта по сравнению с аналогом (базовый вариант №2) составит 232 тыс. рублей.

Сравнительная эффективность комбинированной электроустановки

Сравним стоимостную и потребительскую эффективность комбинированной электроустановки с ближайшим аналогом установкой ОЗУФ, включающей аналогичную бактерицидную лампу.

В связи с тем, что в настоящее время установки ОЗУФ не выпускаются проведем грубый расчет стоимостной оценки установки ОЗУФ. Расчет приведен с учетом равенства амортизационных отчислений на установки и равенства привесов птенцов птиц.

Сравнительная эффективность рассматриваемых установок оценивается по основным показателям: себестоимость изделий, производительность и энергозатратность.

Из предыдущих расчетов видно, что разница себестоимости комбинированной электроустановки и себестоимости ОЗУФ составляет 4650 рублей. Годовое потребление электроэнергии ОЗУФ составит 798 руб, комбинированной электроустановкой – 1835,4, годовая разница 1037,4 руб. При этом преимуществом комбинированной электроустановки перед аналогом является увеличенные интервалы между очистками устройств от осевшей пыли. Так как бактерицидный поток ламп снижается от запыленности, то очистку ламп необходимо проводить ежедневно. Очистку электродов и ламп комбинированной электроустановки необходимо производить 1 раз в месяц. Тогда годовые затраты на очистку ОЗУФ (240 мин в месяц) составят 7867 руб., годовые затраты на очистку комбинированной электроустановки (10 мин в месяц) составят 328 руб. Разница годовых затрат на очистку 7539 руб. окупает разницу оригинальных затрат на производство комбинированной электроустановки 4650 руб. за 0,62 года.

Потребительские ценности комбинированной электроустановки и ее аналога ОЗУФ характеризуются коэффициентом эффективности обеззараживания помещения – K_1 :

$$K1 = \frac{\text{ост.мк}_{\text{ОЗУФ}}}{\text{ост.мк}_{\text{КЭл}}} = \frac{27}{22} = 1,23, \quad (5.15)$$

где ост. мк – процент оставшихся микроорганизмов, % (принимаем, что эффективность обеззараживания комбинированной установки выше на 5% эффективности обеззараживания ОЗУФ в связи с уменьшением запыленности помещения и повышения бактерицидного потока лампы, а также дополнительным обеззараживающим действием от озона, выделяемом при коронном разряде).

Расчеты показали, что совокупная потребительская ценность комбинированной электроустановки превышает аналогичную ценность ОЗУФ на 23%. Это значит, что для достижения одинакового обеззараживающего эффекта необходимо либо увеличить время экспозиции установок ОЗУФ, либо количество установок на 23%.

Из сравнительного анализа комбинированной установки и ее аналога видно, что по стоимостным свойствам разрабатываемая установка окупается меньше чем за год, а потребительские свойства выигрывают аналог на 23%.

5.4 Выводы по главе

1. Результаты лабораторных испытаний показали, что:

– применение разрабатываемой установки с увеличенной зоной осаждения, позволили повысить эффективность обеспыливания частиц размером от 0,3 до 0,8 мкм в среднем на 24% по сравнению с данной установкой с одной зоной осаждения.

– Применение комбинированной электроустановки с дополнительной озоноразрушающей зоной позволит использовать ее в помещениях, объемом до 20 м³, а также при содержании молодняка кур, так как концентрация озона уменьшилась на 31%.

2. Результаты производственных испытаний в боксах птичника показали:

– оптимальный режим работы комбинированной электроустановки составляет 1 час, затем эффективность обеспыливания растет незначительно;

– при работе комбинированной электроустановки 3 раза в сутки по 1 часу (6-7ч, 12-13ч, 18-19ч) на 28 сутки концентрация пылевых частиц возрастает, что

говорит, о необходимости проведения очистки осадительных электродов от осевшей пыли;

– применение электроустановки привело к снижению бактерицидной обсеменённости воздуха на 78% от ПДК и концентрации аммиака на 45% по сравнению с опытным боксом.

– использование разработанной установки позволило увеличить прирост живой массы цыплят на 28 день на 20,3 %.

3. Годовой экономический эффект от внедрения 15 комбинированных электроустановок для обеспыливания и обеззараживания воздуха в птицеводческого помещения для выращивания 9000 бройлеров составляет 626тыс. руб. по сравнению со стандартной методикой выращивания птицы за счет увеличения привеса и уменьшения падежа птицы, срок окупаемости о внедрения комбинированных установок в птичник – 0,36 года. Годовая выручка от внедрения комбинированных электроустановок в птичник по сравнению с аналогом составит 393 тыс. рублей.

Сравнительный анализ комбинированной установки и ее аналога показал, что по стоимостным свойствам разрабатываемая установка окупается меньше чем за год, а потребительские свойства выигрывают аналог на 23%.

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.

2. Разработанная теоретическая модель процесса обеспыливания воздуха по сферическим частицам заданного диаметра (формулы 2.2, 2.34) 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 18,15%.

3. Разработана методика расчета максимальной напряженности электрического поля и максимального потенциала в зоне ионизации, которая показала, что для межэлектродного расстояния 10мм необходимо поддерживать максимальную напряжённость 2900кВ/м и потенциал коронирующего электрода 11кВ.

Разработана методика расчета времени работы при требуемом показателе эффективности обеспыливания воздуха, которая показала, что режим работы 3 раза в сутки по 1 часу (6-7ч, 12-13ч, 18-19ч) достаточен для

поддержания показателя эффективности обеспыливания свыше 85% в помещении для содержания птицы.

Бактерицидный поток лампы при эффективности обеззараживания 70% составит 4Вт, 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 по сравнению со стандартной методикой выращивания птицы – 0,36 года. Годовая выручка от внедрения комбинированных электроустановок в птичник по сравнению с аналогом составит 393 тыс. рублей.

Основные положения диссертационной работы докладывались на 6 международных конференциях.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

В перспективе дальнейшей разработки темы рекомендуется рассмотреть возможность очистки электродов электроустановки с помощью магнитно-импульсной технологии, исследовать возможность внедрения разработанной установки в помещениях для содержания животных, автоматизации процесса очистки, а также вопрос сокращения затрат на

отопительно-вентиляционную систему птичника за счет использования частичной рециркуляции воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурагимова, Р. М. Загрязненность воздушной среды птичника, кормов и подстилки микроорганизмами и спорами плесневых грибов [Текст] / Р. М. Абдурагимова, Т. Л. Майорова, Д. Г. Мусиев [и др.] // Проблемы развития АПК региона. – 2019. – № 3(39). – С. 152-157.
2. Абдурагимова, Р. М. Санитарно-бактериологическая оценка воздушной среды птичника / Р. М. Абдурагимова, Т. Л. Майорова, Д. Г. Мусиев [и др.] [Текст] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2020. – Т. 241. – № 1. – С. 6-11.
3. Акулова, Т. Н. Обоснование параметров конструкции устройства для ионизации и обеспыливания рециркуляционного воздуха производственных помещений [Текст] / Т.Н. Акулова, Е.Л. Белов, Т.В. Шаронова // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2 (13). – С. 90-94.
4. Алексеенко, А. В. Применение электрогидродинамического моделирования для расчета электрической подвижности аэрозольных частиц, заряженных в коронном разряде [Текст] / А.В. Алексеенко, С.А. Якимов // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика. – 2016. – Т. 11. – № 4. – С. 5-16.
5. Алешкевич, В.А. Электромагнетизм: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки ВПО 011200 - Физика / В.А. Алешкевич. – М.: Физматлит, 2014, 404 с.
6. Алферова, Л.К. Ультрафиолетовый облучатель–озонатор / Л.К. Алферова, А.И. Козлов, Л.Ю. Юферев // Сельский механизатор. – 2000. –№ 6. – С. 35.

7. Баев, В. Ионизация воздуха в птичниках с клеточным содержанием птицы / В. Баев, М. Бочаров // Птицеводство. – 2008. – № 1. – С. 36-37.
8. Биофизика человека в цифрах (Часть 2) - Мои файлы - Каталог файлов - Персональный страница Валерия Радченко. – URL: https://radchenko-49.ucoz.ru/load/tablica_k_chasti_3_2/1-1-0-6 (дата обращения: 11.07.2022) – Текст: электронный.
9. Бородин, И. Ф. Электроозонные технологии в сельскохозяйственном производстве / И.Ф. Бородин, Д.А. Нормов – Текст : непосредственный. // Вестник Российской Академии Сельскохозяйственных Наук. 2009. № 1. – С. 85-86.
10. Бусройд, Р. Течение газа со взвешенными частицами / Р. Бусройд, Пер. с англ. В. С. Данилина и Ф. Е. Спокойного ; Под ред. З. Р. Горбиса. - Москва : Мир, 1975. - 378 с.
11. Василяк, Л. М. Зарядка микрочастиц в коронном разряде в воздушном потоке // Успехи Прикладной Физики. 2017. Т. 5. № 4. – С. 329-334.
12. Вентилятор ВО 13-284 №12,5 осевые – Общие сведения Варианты изготовления 121 и К06; Комплектация направляющим (НА) и спрямляющим (СА) аппаратами; Перемещаемая среда не должна содержать взрывоопасных смесей, липких и воло... – URL: <https://promelvent.ru/katalog-produkcii/ventilyacionnoe-oborudovanie-i-kondicionirovanie/ventilyatory/ventilyatory-rossijskogo-proizvodstva/osevye/vo-13-284/ventilyator-vo-13-284-12-5-osevye/> (дата обращения: 07.07.2022) – Текст: электронный.
13. Верещагин, И.П. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / Верещагин И.П., Левитов В.И., Мирзабекян Г.З. – Москва: Энергия, 1974. – 480 с. – Текст : непосредственный.

14. Ветеринарно–санитарные правила для птицеводческих хозяйств (ферм) и требования при их проектировании. – М: Минсельхозом СССР, 1981. – 20 с.
15. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х ч. Под ред. И.Г. Староверова. Изд. 3-е. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. - М.: Стройиздат, 1978. - 509 с.
16. Возмилов, А. Г. Использование двухступенчатого мокрого электрофильтра в системах очистки рециркуляционного воздуха в производственных помещениях сельского хозяйства с целью снижения заболеваемости рабочих // Вестник НГИЭИ. 2022. № 5 (132). – С. 45-54.
17. Возмилов, А. Г. Исследование и разработка двухзонного электрофильтра для очистки воздуха в промышленном производстве: цех инкубации цыплят: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.02 / Возмилов Александр Григорьевич ; . – Челябинск, 1980. – 197 с. – Текст : непосредственный.
18. Возмилов, А. Г. Очистка вытяжного воздуха в промышленном птицеводстве // АПК России. 2021. Т. 28. № 4. – С. 466-471.
19. Возмилов, А. Г. Расчет основных параметров осадительных электродов мокрого электрофильтра / А.Г. Возмилов, Л.Н. Андреев, В.Н. Мишагин – Текст : непосредственный. // Техника В Сельском Хозяйстве. 2010. № 4. – С. 19-22.
20. Возмилов, А. Г. Результаты производственных испытаний мокрого электрофильтра // Вестник КрасГау. 2013. № 8 (83). – С. 185-191.
21. Высоковольтные генераторы напряжения с емкостными накопителями энергии – Высоковольтные генераторы напряжения с емкостными накопителями энергии Генераторы высокого напряжения малой мощности широко используют в дефектоскопии, для питания портат ... – URL: <https://www.qrz.ru/schemes/contribute/power/wysokovol-tnye-generatory-naprazenia-s-emkostnymi-nakopitelami-energii.html> (дата обращения: 07.07.2022) – Текст: электронный.

22. Дезинфектология. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях. Руководство. Р 3.5.1904-04 — Редакция от 04.03.2004 — Контур.Норматив. — URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=82185> (дата обращения: 05.07.2022) — Текст: электронный.

23. Деревенко, К. В. Теоретические основы зарядки в электрическом поле коронного разряда лакокрасочных покрытий для пищевой промышленности / К.В. Деревенко — Текст : непосредственный. // Известия Высших Учебных Заведений. Пищевая Технология. 2008. № 5-6 (306-307). — С. 92-95.

24. Дмитриев, А. Ф. Исследование микробной обсемененности воздуха животноводческих помещений / А. Ф. Дмитриев, В. Ю. Морозов Издательство «АГРУС», — 28 с. — Текст : непосредственный.

25. Довлатов, И. М. Математическая модель по определению количества комбинированных рециркуляторов для птицеводческих помещений / И.М. Довлатов, Л.Ю. Юферев — Текст : непосредственный. // Агротехника и энергообеспечение. 2019. № 4 (25). — С. 129-137.

26. Довлатов, И. М. Обеззараживание воздуха в птицеводческих помещениях ультрафиолетовым излучением / И.М. Довлатов — Текст : непосредственный. // Инновации В Сельском Хозяйстве. 2017. № 1 (22). — С. 13-14.

27. Довлатов, И. М. Увеличение живой массы разводимой птицы при очистке воздуха комбинированным рециркулятором / И.М. Довлатов, Л.Ю. Юферев — Текст : непосредственный. // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. № 3 (40).

28. Довлатов, И.М. Обоснование параметров и разработка комбинированного рециркулятора, обеззараживающего воздух в помещениях для содержания птицы : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Довлатов И.М. ; ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. — Москва, 2020. — 178 с. — Текст : непосредственный.

29. Еськова, С.М. Электрофильтр с повышенной объемной скоростью для очистки приточного воздуха в промышленном птицеводстве : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.02 / Еськова Светлана Михайловна; [Место защиты: Ижев. гос. с.-х. акад.].- Тюмень, 2012.- 108 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/2926.

30. Жеребцов, Б. В. Разработка и исследование мокрого электрофильтра для очистки рециркуляционного воздуха животноводческих помещений от сероводорода / Б.В. Жеребцов – Текст : непосредственный. 2013. – С. 119.

31. Звездакова, О. В. Совершенствование двухзонного электрофильтра для очистки воздуха от пыли в сельскохозяйственных помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздушной среды / О.В. Звездакова – Текст : непосредственный. 2009. – С. 164.

32. Илимбетов, Р. Ю. Повышение эффективности электростатического фильтра для очистки воздуха от пыли в помещениях АПК за счет применения замасливателя и нейтральных пластин / Р.Ю. Илимбетов – Текст : непосредственный. 2004. – С. 193.

33. Инин, В. Д. Анализ ситуации распространения гриппа птиц в России / В.Д. Инин, А.М. Васильев, Е.В. Здравьева. Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 241-244.

34. Ионный ветер и его применение И.А. Криштафович, Ю.А. Криштафович. – URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1656971641&tld=ru&lang=ru&name=Ionnyj-veter-i-ego-primenenija.pdf&text=%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80%20%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%88%D1%82%D0%B0%D1%84%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87&url=http%3A%2F%2Ftersus-i.ru%2Ffile%2Fbiblio%2FIonnyj-veter-i-ego-primenenija.pdf&lr=10743&mime=pdf&l10n=ru&sign=90a524d6b324d28ef3f550>

ba1c840b97&keyno=0&serpParams=tm%3D1656971641%26tld%3Dru%26lang%3Dru%26name%3DIonnyj-veter-i-ego-primenenija.pdf%26text%3D%25D0%25B8%25D0%25BE%25D0%25BD%25D0%25BD%25D1%258B%25D0%25B9%2B%25D0%25B2%25D0%25B5%25D1%2582%25D0%25B5%25D1%2580%2B%25D0%25BA%25D1%2580%25D0%25B8%25D1%2588%25D1%2582%25D0%25B0%25D1%2584%25D0%25BE%25D0%25B2%25D0%25B8%25D1%2587%26url%3Dhttp%253A%2F%2Ftersus-i.ru%2Ffile%2Fbiblio%2FIonnyj-veter-i-ego-primenenija.pdf%26lr%3D10743%26mime%3Dpdf%26l10n%3Dru%26sign%3D90a524d6b324d28ef3f550ba1c840b97%26keyno%3D0 (дата обращения: 05.07.2022) – Текст: электронный.

35. Канифова, Р. Р. Микробная обсемененность птичников и изыскание средства для дезинфекции помещений в присутствии птицы / Р.Р. Канифова – Текст : непосредственный. 2003. – С. 20.

36. Капцов, И.А. Коронный разряд и его применение в электрофильтрах: учеб. пособие / И.А. Капцов - М.: Гостехиздат, 1947. 246 с.

37. Кирпичников И.В. Разработка и исследование электростатического фильтра для очистки воздуха от пыли в сельскохозяйственных малообъемных помещениях. Дисс. ... канд. техн. наук. - Челябинск: ЧГАУ, 2000. - 137 с.

38. Козлов, Б. А. Исследование «электрического ветра» в электродных системах с коронирующими остриями / Б.А. Козлов, В.И. Соловьев – Текст : непосредственный. // Журнал Технической Физики. 2007. Т. 77. № 7. – С. 70-76.

39. Корн, Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения. Теоремы. Формулы. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. А. Корн, Т. М. Корн ; 6. изд., стер – СПб. [и др.]: Лань, 2003. – 831 с.– ISBN 978-5-8114-0485-8. – Текст : непосредственный.

40. Кочиш, И. Системы вентиляции для птицеводческих ферм / И. Кочиш, А. Чекмарев, С. Кадик – Текст : непосредственный. // Птицефабрика. 2007. № 6. – С. 26-28.

41. Кривопишин И. П. Возможности практического применения озона в птицеводстве // По материалам исследований ВНИТИ птицеводства / Кривопишин И. П. – Текст : непосредственный.

42. Крючкова, Н. Н. Влияние запыленности животноводческого помещения на микробную обсемененность воздуха / Н.Н. Крючкова, А.В. Бутылкина – Текст : непосредственный. // Молодой Ученый. 2020. № 4 (294). – С. 211-214.

43. Кузнецов, А. Ф. Современные технологии и гигиена содержания птицы : учебное пособие / А. Ф. Кузнецов, Г. С. Никитин. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1288-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210902> (дата обращения: 10.07.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

44. Лампа кварцевая ультрафиолетовая ртутная ДРТ-125-1 (без цоколя) - купить по цене 750 рублей в интернет-магазине РадугаМед. – URL: <https://www.radugamed.ru/katalog.shtm/50390/items/2117/> (дата обращения: 11.07.2022) – Текст: электронный.

45. Ледовской, В. В. Исследование параметров критического напряжения электрического фильтра / В.В. Ледовской. 2016. – С. 234-238.

46. Лекомцев, П. Л. Электроаэрозольные технологии в сельскохозяйственном производстве: диссертация ... доктора технических наук: 05.20.02 / Лекомцев Петр Леонидович ; . – Москва, 2006. – 383 с. – Текст : непосредственный.

47. Лившиц, П.Л. Импульсная электротехника / А. Л. Лившиц, М. Ш. Отто. - М. : Энергоатомиздат, 1983. - 351 с.

48. Любанова, А. Ш. Моделирование потока заряженных частиц применительно к процессам газоочистки / А.Ш. Любанова, К.В. Митин –

Текст : непосредственный. // Журнал Сибирского Федерального Университета. Серия: Техника И Технологии. 2011. Т. 4. № 6. – С. 542-652.

49. Медведев, А. А. Эксплуатация электрооборудования в сельском хозяйстве / А. А. Медведев, С. А. Суворов, В. А. Лавров ; ФГБНУ «Росинформагротех» – Москва, 2013. – 226 с. – Текст : непосредственный.

50. Мельникова, Л. А. Влияние неблагоприятных биологических производственных факторов на здоровье работников птицефабрик / Л.А. Мельникова, О.Е. Шедикова, С.А. Янецкая – Текст : непосредственный. // Здоровье И Окружающая Среда. 2009. № 14. – С. 384-387.

51. Мелюков, А.Н. Применение коротковолнового ультрафиолетового излучения в животноводстве и механизм его действия / А.Н. Мелюков // В кн.: Материалы Всесоюзного совещания по использованию оптического излучения в сельскохозяйственном производстве (17–21 ноября 1969 г., г. Львов). – 1969. – С. 53–57.

52. Микробиологические риски в промышленном птицеводстве и животноводстве / В. И. Фисинин, В. И. Трухачев, И. П. Салеева [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53. – № 6. – С. 1120-1130

53. Некоторые аспекты использования озона и особенности применения озонаторов, повышающие сохранность убранных урожаев в овощехранилищах. Теоретические и экспериментальные исследования: монография / В. В. Белов, В. С. Павлов, Е. Л. Белов [и др.]. – Волгоград : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Научное обозрение", 2022. – 84 с. – ISBN 978-5-00186-059-4. – EDN NBPCBX.

54. Нормов, Д. А. Влияние озонового воздуха на посевные качества семян гибридов кукурузы / Д.А. Нормов, А. А. Шевченко, Д. В. Пожидаев – Текст : непосредственный. // British Journal of Innovation in Science and Technology. 2018. Т. 3. № 2. – С. 11-19.

55. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия от 14 июля 2012 - docs.cntd.ru. – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/902361843> (дата обращения: 30.06.2022) – Текст: электронный.

56. Овсянникова, Е. А. Определение основных параметров и режимов работы комбинированного облучателя-озонатора воздуха в животноводческих помещениях / Е. А. Овсянникова, В. Ф. Сторчевой, Н. Е. Кабдин, Л. В. Занфирова // *Агротехника и энергообеспечение*. – 2021. – № 4(33). – С. 22-29.

57. Осевые вентиляторы – URL: <https://market.yandex.ru/search?text=%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B5%20%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%8B> (дата обращения: 07.07.2022) – Текст: электронный.

58. Павкин, Д. Ю. Обоснование параметров датчика–счётчика потока молока для общего и почетвертного доения: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Павкин Дмитрий Юрьевич. – М., 2018. – 135 с.

59. Перепелкин, Н. Гигиена на птицефабрике: важно все / Н. Перепелкин – Текст : непосредственный. // *Животноводство России*. 2015. Гигиена на птицефабрике. № S4. – С. 37-39.

60. Поломошнова, И. А. Борьба с микробной загрязненностью в птичнике / И.А. Поломошнова – Текст : непосредственный. // *Вестник Донского государственного аграрного университета*. 2015. № 2-1 (16). – С. 14-22.

61. Попов Н.А. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях / Н.А. Попов – Текст : непосредственный. // *Прометей*, 2015. – 48 с.

62. Прокопенко, А. А. Влияние некоторых факторов на эффективность обеззараживания воздуха КУФ-лучами в облучателях-рециркуляторах / А.А. Прокопенко – Текст : непосредственный. // *Российский журнал проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2013. № 1 (9). – С. 26-31.

63. Прокопенко, А. А. Обеззараживание воздуха бактерицидным УФ излучением / А.А. Прокопенко, С.И. Новикова, М.П. Соломина – Текст : непосредственный. // Птицеводство. 2016. № 6. – С. 55-59.

64. Р 3.5.1904-04. 3.5. Дезинфектология. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях. Руководство (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 04.03.2004) :: СудАкт.ру. – URL: <https://sudact.ru/law/r-351904-04-35-dezinfektologiiia-ispolzovanie-ultrafioletovogo-bakteritsidnogo/> (дата обращения: 05.07.2022) – Текст: электронный.

65. Райст, П. Аэрозоли. Введение в теорию / П. Райст. – М., 1987. – 280 с.

66. Ращепкин, В.А. Оценка влияния электрического ветра на эффективность улавливания дисперсных частиц в потоке дымовых газов в электростатических фильтрах. Теплофизические основы энергетических процессов. / В.А. Ращепкин, В.А. Вольчин– Текст : непосредственный. 2019. № 4. – С. 25-32.

67. РД–АПК 1.10.05.04–13 Методические рекомендации по технологическому проектированию птицеводческих предприятий. – М: ФГБНУ Росинформагротех, 2013. – 211 с.

68. Рынок мяса птицы за 10 месяцев 2021 года. – URL: <https://www.tsenovik.ru/articles/obzory-i-prognozy/rynok-myasa-ptitsy-za-10-mesyatsev-2021-goda/> (дата обращения: 02.07.2022) – Текст: электронный.

69. Саввинова, М. С. Оптимизация микроклимата птичников в условиях крайнего севера / М.С. Саввинова, В.В. Матаркина – Текст : непосредственный. // Вестник Красгау. 2019. № 11 (152). – С. 84-89.

70. Самарин, Г. Н. Энергосберегающая рециркуляционная система микроклимата для животноводческих и птицеводческих помещений / Г.Н. Самарин, М.С. Соловьев, Д.Ю. Гордеев. Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2010. – С. 159-163.

71. Самарин, Г. Н. Энергосберегающая система микроклимата ферм с обеззараживателем воздуха / Г.Н. Самарин, А.Н. Павлов, М.С. Соловьев. Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2011. – С. 73-75.

72. Селезнева, Д. М. Аналитический обзор установок для обеззараживания и обеспыливания сельскохозяйственных установок / Д.М. Селезнева. Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. – С. 303-306.

73. Селезнева, Д. М. Исследования эффективности обеспыливания воздуха комбинированным электрофильтром / Д.М. Селезнева. Новосибирский государственный технический университет, 2020. – С. 61-64.

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

75. Селезнева, Д. М. Экспериментальное исследование комбинированной электроустановки для очистки воздушной среды сельскохозяйственных помещений / Д.М. Селезнева. Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – С. 219-222.

76. Селезнева, Д. М. Экспериментальное исследование многозонного электрофильтра для очистки воздушной среды сельскохозяйственных помещений / Д.М. Селезнева. Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – С. 85-87.

77. Селянский, В.М. Микроклимат в птичниках / В. М. Селянский – Москва: Колос, 1975. – 304 с. – Текст : непосредственный.

78. Смирнягин Е.В. Разработка и исследование ионного вентилятора-фильтра для очистки воздуха от пыли в помещениях АПК. Дисс. ... канд. техн. наук. - Челябинск: ЧГАУ, 2002. - 147 с.

79. Смолин, Н. И. Исследование режимных характеристик двухступенчатого мокрого электрофилтра в лабораторных условиях / Н.И. Смолин, Л.Н. Андреев, В.В. Юркин – Текст : непосредственный. // Вестник Красгау. 2016. № 8 (119). – С. 115-121.

80. Сторчевой, В. Ф. Ионизация и озонирование воздушной среды в птицеводстве / В.Ф. Сторчевой – Текст : непосредственный. 2004. – С. 283.

81. Сторчевой, В. Ф. Исследование Параметров И Режимов Работы Озонатора-Ионизатора Для Молочных Ферм / В.Ф. Сторчевой, Н.Е. Кабдин, А.Е. Компаниец – Текст : непосредственный. // Агроинженерия. 2020. № 3 (97). – С. 50-54.

82. Сторчевой, В. Ф. Создание озонно-ионной воздушной среды в закрытых помещениях для содержания животных и птицы / В.Ф. Сторчевой, С.В. Сучугов, А.Е. Компаниец – Текст : непосредственный. // Вестник Федерального Государственного Образовательного Учреждения Высшего Профессионального Образования «Московский Государственный Агроинженерный Университет Имени В.п. Горячкина». 2019. № 3 (91). – С. 35-39.

83. Тихомиров, Д. А. Вентиляционно-отопительная установка модульного типа / Д.А. Тихомиров – Текст : непосредственный. // Сельский Механизатор. 2012. № 9. – С. 32-33.

84. Ультрафиолетовая лампа вредна ли для человека. Польза и вред воздействия ультрафиолетового излучения на человека – Ультрафиолетовые приборы используются в медицине, полиграфии, криминалистике, косметологи и других сферах деятельности. – URL: <https://lastici.ru/sodergan/vredny-li-ultrafioletovye-lampy-polza-i-vred-chem-opasen-ozhog-dlya-cheloveka.html> (дата обращения: 11.07.2022) – Текст: электронный.

85. Цзепин, Г. Исследование зарядки и движения частиц в поле двухзонного малогабаритного электрофилтра с целью выбора его

оптимальных конструктивных параметров : кандидат технических наук / Цзепин Гуо ; . – Москва, 1994. – 258 с. – Текст : непосредственный.

86. Шавкунов, М. Л. Исследование влияния полярности коронного разряда на работу электрофильтра / М.Л. Шавкунов, А.С. Корепанов, П.Л. Лекомцев // Материалы Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 304-308.

87. Шавкунов, П.Л. Экспериментальные исследования ВАХ фильтра / М. Л. Шавкунов, П. Л. Лекомцев, А. М. Ниязов [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2020. – № 2(40). – С. 23.

88. Шевченко А. А. Параметры электроозонирования для предпосевной обработки семян кукурузы: дис.... канд. техн. наук: 05.20.02: защищена 15.12.2005 / Шевченко Андрей Андреевич. — Краснодар: КубГАУ, 2005. — 137 с.

89. Шлепина, Д. М. Анализ конструкций электрофильтров для сельскохозяйственных помещений / Д.М. Шлепина. Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – С. 134-138.

90. Экономическая оценка проектных решений в агроинженерии : учебник / В. Т. Водяников, Н. А. Середина, О. Н. Кухарев [и др.]; под редакцией В. Т. Водяникова. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 436 с. — ISBN 978-5-8114-3676-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/122156> (дата обращения: 10.07.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

91. Электрическая очистка газов [Текст]: [Сборник статей] / Гос. науч.-исслед. ин-т по пром. и сан. очистке газов «НИИОГаз»; [Отв. ред. канд. техн. наук Б. Ф. Подошевичков]. - Москва : Энергия, 1968. - 101 с.

92. Юферев, Л. Ю. Испытания комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха в птичнике / Л.Ю. Юферев,

Д.М. Селезнева – Текст : непосредственный. // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 3. – С. 45-50.

93. Юферев, Л. Ю. Обеззараживание и обеспыливание воздуха в помещениях на основе электрофильтра / Л.Ю. Юферев, Д.М. Селезнева, Е.А. Овсянникова – Текст : непосредственный. // Сельский Механизатор. 2020. № 4.

94. Юферев, Л. Ю. Повышение эффективности энергоресурсосберегающей системы УФ облучения / Л. Ю. Юферев, И. М. Довлатов // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – № 2(27). – С. 70-75.

95. Юферев, Л. Ю. Разработка системы электрофизического двухкомпонентного обеззараживания воздуха в птицеводческих помещениях : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Юферев Леонид Юрьевич. – Москва, 2006. – 143 с.

96. Юферев, Л. Ю. Результаты испытаний УФ облучателей повышенной эффективности / Л.Ю. Юферев, Л.К. Алферова, А.А. Юферева – Текст : непосредственный. // Инновации В Сельском Хозяйстве. 2014. № 1 (6). – С. 36-39.

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

98. Юферев, Л. Ю. УФ-облучатели повышенной эффективности для обеззараживания воздуха помещений / Л.Ю. Юферев – Текст : непосредственный. // Российский журнал проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2017. № 1 (21). – С. 12-16.

99. Юферев, Л. Ю. Электроустановки для стимулирующего ультрафиолетового облучения животных / Л.Ю. Юферев, И.С. Глушков, А.А.

Юферева – Текст : непосредственный. // Инновации В Сельском Хозяйстве. 2017. № 2 (23). – С. 25-27.

100. Юферев, Л.Ю. Повышение эксплуатационных и энергетических характеристик облучателей «ОЗУФ» / Л.Ю. Юферев // Труды международной научно–технической конференции энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2006. – Т. 3. – С. 270–275.

101. Bródka K. The variability of bacterial aerosol in poultry houses depending on selected factors. – С. Int. J. Occup. Med. Env., 2012, 25(3): 281-293 (). DOI: 10.2478/S13382-012-0032-8.

102. Dust Sensor, Монитор воздуха (датчик пыли), Waveshare | купить в розницу и оптом. – URL: <https://www.chipdip.ru/product/dust-sensor> (дата обращения: 11.07.2022) – Текст: электронный.

103. Millner, P. D. Bioaerosols associated with animal production operations / P.D. Millner – Text: direct // Bioresource Technology. 2009. Vol. 100. № 22. – P. 5379-5385.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022666206

«Расчет электрофильтра»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)*

Авторы: *Белов Михаил Иванович (RU), Сторчевой Владимир Федорович (RU), Кабдин Николай Егорович (RU), Юферев Леонид Юрьевич (RU), Селезнева Дарья Михайловна (RU)*

Заявка № 2022664865

Дата поступления 09 августа 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 26 августа 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Zubov

ПРОГРАММА ДЛЯ ПЭВМ

Расчет электрофильтра

Исходный код модуля Unit1

```

unit Unit1;

{$mode objfpc}{$H+}

interface

uses
  Classes, SysUtils, FileUtil, TAgGraph, TAsSeries, Forms, Controls, Graphics,
  Dialogs, Buttons, ExtCtrls, StdCtrls, Menus, ComCtrls, Grids, ValEdit, math;

type

  { TForm1 }

  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Chart1: TChart; Chart1LineSeries1: TLineSeries; Chart1LineSeries2:
    TLineSeries; Chart1LineSeries3: TLineSeries;
    Chart1LineSeries4: TLineSeries; Chart1LineSeries5: TLineSeries;
    Image1: TImage; ImV: TImage; ImW: TImage; ImS: TImage;
    Label9: TLabel;
    LabeledEdit12: TLabeledEdit; LabeledEdit13: TLabeledEdit;LabeledEdit14:
    TLabeledEdit;
    LabeledEdit15: TLabeledEdit;LabeledEdit16: TLabeledEdit;LabeledEdit17:
    TLabeledEdit;
    LabeledEdit18: TLabeledEdit;LabeledEdit20: TLabeledEdit;LabeledEdit19:
    TLabeledEdit;
    LabeledEdit9: TLabeledEdit; LabeledEdit11: TLabeledEdit;
    LabeledEdit2: TLabeledEdit;LabeledEdit1: TLabeledEdit;LabeledEdit3:
    TLabeledEdit; LabeledEdit4: TLabeledEdit;
    LabeledEdit5: TLabeledEdit; LabeledEdit6: TLabeledEdit; LabeledEdit7:
    TLabeledEdit; LabeledEdit8: TLabeledEdit;
    LabeledEdit10: TLabeledEdit;
    MainMenu1: TMainMenu; Memo1: TMemo;
    MenuItem1: TMenuItem; MenuItem10: TMenuItem;MenuItem2:
    TMenuItem;
    MenuItem3: TMenuItem; MenuItem4: TMenuItem; MenuItem5:
    TMenuItem; MenuItem7: TMenuItem;
    MenuItem9: TMenuItem; Panel1: TPanel;

```

```

    ProgressBar1: TProgressBar; RadioGroup2: TRadioGroup; RadioGroup1:
TRadioGroup; SaveDialog1: TSaveDialog; StaticText2: TStaticText;
    procedure Button1Click(Sender: TObject); procedure FormCreate(Sender:
TObject);
    procedure Memo1Click(Sender: TObject); procedure
MenuItem10Click(Sender: TObject);
    procedure MenuItem2Click(Sender: TObject); procedure
MenuItem3Click(Sender: TObject);
    procedure MenuItem4Click(Sender: TObject); procedure
MenuItem5Click(Sender: TObject);
    procedure MenuItem7Click(Sender: TObject); procedure
MenuItem9Click(Sender: TObject);
    function qeion(tt:Extended;yy:Extended):Extended;
    function fxi(tt:Extended;xx:Extended;yy:Extended;xxt:Extended):Extended;
    function fyi(tt:Extended;xx:Extended;yy:Extended;yyt:Extended):Extended;
    function fxo(xx:Extended;yy:Extended;xxt:Extended):Extended;
    function fyoy(xx:Extended;yy:Extended;yyt:Extended):Extended;
    procedure Calc1(code:integer); procedure Calc2(code:integer);
    procedure Pr(j1F:integer; j2F:integer); procedure Ent(kk:integer);

private
    { private declarations }
    ee,Ta,k,N0,vc,vz,Ec,mu,roa,ro,eps0,eps,h,a1,L1,xc,a2,L2,vax,vay,D,R,Uc,Uk,
q : Extended;
    Cc,qc,qK,x,y,y0,y0max,xt,yt,t,dt,tmax1,tmax2, Exiq, EyiQ, QQ : Extended;
num,nL : Integer;
public
    { public declarations }
    kIm, Mk, hCh : Integer;

end;

var
    Form1: TForm1;

implementation

{$R *.lfm}

{ TForm1 }

procedure TForm1.MenuItem9Click(Sender: TObject);
var j1,j2:Integer;

```

```

begin
  Chart1LineSeries1.Clear; Chart1LineSeries2.Clear; Chart1LineSeries3.Clear;
  Chart1LineSeries4.Clear; Chart1LineSeries5.Clear;
  ProgressBar1.Position:=0;
  Chart1.BottomAxis.Title.Visible:=true; Chart1.LeftAxis.Title.Visible:=true;
  // счет

  j1:=RadioGroup1.ItemIndex; j2:=RadioGroup2.ItemIndex;
  case j1 of
    2: begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='x, мм';
          Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='y, мм'; Pr(j1,j2);Abort;
        end;
    3,4: begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='PDT';
            Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='T/T1'; Pr(j1,j2);Abort;
          end;
  end;
end;
case j2 of
  0 : begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='x, мм';
        Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='y, мм'; Pr(j1,j2); end;
  1 : begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='x, мм';
        Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='Ex, κB/М'; Pr(j1,j2); end;
  2 : begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='x, мм';
        Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='Ey, κB/М'; Pr(j1,j2); end;
  3 : begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='Uk, κB';
        Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='Ec, κB/М'; Pr(j1,j2); end;
  4 : begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='Uk, κB';
        Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='Ek, κB/М'; Pr(j1,j2); end;
  5 : begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='x, мм';
        Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='vx, м/с'; Pr(j1,j2); end;
  6 : begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='x, мм';
        Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='vy, м/с'; Pr(j1,j2); end;
  7 : begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='x, мм';
        Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='q/e'; Pr(j1,j2); end;
  8 : begin Chart1.BottomAxis.Title.Caption:='D, мкм';
        Chart1.LeftAxis.Title.Caption:='q/e'; Pr(j1,j2); end;
  end;
end;
end;

procedure TForm1.MenuItem5Click(Sender: TObject);
begin
end;

```

```

procedure TForm1.MenuItem7Click(Sender: TObject);
begin
  Chart1.Visible:=true; Panel1.Visible:=true ; RadioGroup1.Visible:=true;
RadioGroup2.Visible:=true;
  Image1.Visible:=true; ImV.Visible:=False; Button1.Visible:=False;

end;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
var ww, hf, ws, hs : integer;
begin
  ws:=Screen.Width; hs:=Screen.Height;
  Form1.Left:=5; Form1.Top:=5; Form1.Width:=ws-40-Form1.Left;
  Form1.Height:=hs-5 -Form1.Top;
  ww:=Form1.ClientWidth; hf:=Form1.ClientHeight;
  Chart1.Width:=ww div 2 +ww div 6; Chart1.Left:= ww-Chart1.Width-30;
  Chart1.top:=4; hCh:=hf-30-Chart1.top; Chart1.Height:=hCh;
  Panel1.Left:= 10; Panel1.top:= Chart1.top; Panel1.width:= (Chart1.Left-
Panel1.Left) div 2;
  Panel1.Height:= Chart1.Height div 2 + Chart1.Height div 5;
  RadioGroup1.top:= Chart1.top; RadioGroup1.Left:=
Panel1.Left+Panel1.width+2;
  RadioGroup1.Width:=Chart1.Left - RadioGroup1.Left;
RadioGroup1.Height:=Panel1.Height div 3;
  RadioGroup2.top:= RadioGroup1.top+RadioGroup1.Height+5;
RadioGroup2.Left:= RadioGroup1.Left;
  RadioGroup2.Width:=RadioGroup1.Width;
RadioGroup2.Height:=Panel1.Height +Panel1.Top-RadioGroup2.top;
  Image1.Left:= Panel1.Left+2; Image1.top:=
RadioGroup2.top+RadioGroup2.Height +5;
  Image1.width:= Chart1.Left-Image1.Left-2; Image1.Height:=
Chart1.top+Chart1.Height- Image1.Top-2;
  Memo1.Left:=Chart1.Left; Memo1.Width:=Chart1.Width div 2;
Memo1.top:=Chart1.top; Memo1.Height:=Chart1.Height;
  ProgressBar1.Left:=25; ProgressBar1.top:=35; ProgressBar1.Visible:=False;
  ImS.Left:=ww div 8; ImS.Width:=ww div 4 + ww div 2; ImS.Top:=hf div 8;
ImS.Height:=hf div 4 + hf div 2;
  ImW.Left:=ImS.Left; ImW.Top:=ImS.Top; ImW.Width:=ImS.Width;
ImW.Height:=ImS.Height;
  ImV.Left:=ImS.Left; ImV.Top:=ImS.Top; ImV.Width:=ImS.Width;
ImV.Height:=ImS.Height;

```

```

    Button1.Left:=ImV.Left+ImV.Width-Button1.Width;
Button1.Top:=ImV.Top;
end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin kIm:=1;
end;

procedure TForm1.Memo1Click(Sender: TObject);
begin Memo1.Visible:=not Memo1.Visible;
end;

procedure TForm1.MenuItem10Click(Sender: TObject);
var ss,ss1: string;
begin
    if SaveDialog1.Execute then ss:=SaveDialog1.FileName;
    ss1:=ss + '1.bmp';
    Chart1.SaveToBitmapFile(ss1);
end;

procedure TForm1.MenuItem3Click(Sender: TObject);
begin Memo1.Visible:=not Memo1.Visible;
end;

procedure TForm1.MenuItem2Click(Sender: TObject);
begin
    Chart1.Visible:=true; Panel1.Visible:=true ; RadioGroup1.Visible:=true;
RadioGroup2.Visible:=true;
    Image1.Visible:=true; ImV.Visible:=False; Button1.Visible:=False;
end;

procedure TForm1.MenuItem4Click(Sender: TObject);
begin
    Form1.Close;
end;

function TForm1.qeion(tt:Extended;yy:Extended):Extended;
var EEix,EEiy,EEi,tmp,uu,kq: extended;
begin kq:=3*Pi*eps0*(eps/(eps+2))*D*D;
    uu:=2*a1-yy; tmp:=(Sqr(L1/(2*uu))+1)/(Sqr(L1/(2*yy))+1);
    EEix:=(qk/(2*Pi*eps0*h*L1))*ln(tmp);
tmp:=arctan(L1/(2*yy))+arctan(L1/(2*uu));
    EEiy:=(qk/(2*Pi*eps0*h*L1))*tmp; EEi:=Sqrt(EEix*EEix+EEiy*EEiy);

```

```

qeion:=kq*EEi*tt/(4*eps0/(N0*vz)+ee*tt) ;
end;

```

```

function

```

```

TForm1.fxi(tt:Extended;xx:Extended;yy:Extended;xxt:Extended):Extended;
var r1,E1,r3,E2,E1xi,E2xi,E1yi,E2yi,tmp, tmp1, tmp2: extended;
begin
  r1:=Sqrt(Sqr(xx-xc)+Sqr(yy));
  E1:=(qK/(4*Pi*eps0*h*r1*h))*2*(Sqrt(h*h+r1*r1)-r1);
  r3:=Sqrt(Sqr(xx-xc)+Sqr(2*a1-yy));
  E2:=(qK/(4*Pi*eps0*h*r3*h))*2*(Sqrt(h*h+r3*r3)-r3);
  E1xi:=E1*(xx-xc)/r1; E2xi:=-E2*(xx-xc)/r3; Exiq:= E1xi+E2xi;
  tmp:= tt*vax;
  tmp1:=(2*Pi*eps0*D*k*Ta/ee)*Ln(1+D*vc*N0*ee*ee*tt/(8*eps0*k*Ta));
  tmp2:= ee*qeion(tt,yy);
  q:=tmp1+tmp2;
  tmp:=q*(E1xi+E2xi)+3*mu*Pi*D*(vax-xxt)/Cc;
  fxi:=tmp*6/(ro*Pi*D*D*D);
end;

```

```

function

```

```

TForm1.fyi(tt:Extended;xx:Extended;yy:Extended;yyt:Extended):Extended;
var r1,E1,r3,E2,E1xi,E2xi,E1yi,E2yi,tmp,tmp1,tmp2: extended;
begin
  r1:=Sqrt(Sqr(xx-xc)+Sqr(yy));
  E1:=(qK/(4*Pi*eps0*h*r1*h))*2*(Sqrt(h*h+r1*r1)-r1);
  r3:=Sqrt(Sqr(xx-xc)+Sqr(2*a1-yy));
  E2:=(qK/(4*Pi*eps0*h*r3*h))*2*(Sqrt(h*h+r3*r3)-r3);
  E1yi:=E1*yy/r1; E2yi:=E2*(2*a1-yy)/r3; Eyiq:= E1yi+E2yi;
  q:=
(2*Pi*eps0*D*k*Ta/ee)*Ln(1+D*vc*N0*ee*ee*tt/(8*eps0*k*Ta))+ee*qeion(tt,y
y);
  tmp:=q*(E1yi+E2yi)+3*mu*Pi*D*(vay-yyt)/Cc;
  fyi:=tmp*6/(ro*Pi*D*D*D);
end;

```

```

function TForm1.fxo(xx:Extended;yy:Extended;xxt:Extended):Extended;

```

```

var u1,u2,Exu2,Exu1,E1x,E2x,tmp: extended;
begin
  u1:=Sqr(xx)+Sqr(yy); u2:=Sqr(xx-L2)+Sqr(yy);
  E1x:=-QQ*ln(u2/u1);
  u1:=Sqr(xx)+Sqr(a2-yy); u2:=Sqr(xx-L2)+Sqr(a2-yy);
  E2x:=QQ*ln(u2/u1);
  tmp:=q*(E1x+E2x)+3*mu*Pi*D*(vax-xxt)/Cc; Exiq:= E1x+E2x;

```

```

fxo:=tmp*6/(ro*Pi*D*D*D);
end;

```

```

function TForm1.fyo(xx:Extended;yy:Extended;ytt:Extended):Extended;
var E1y,E2y,tmp: extended;
begin
E1y:=QQ*( arctan((L2-xx)/yy)+arctan(xx/yy) );
E2y:=QQ*( arctan((L2-xx)/(a2-yy))+arctan(xx/(a2-yy)) );
tmp:=q*(E1y+E2y)+3*mu*Pi*D*(vay-ytt)/Cc; Eyi:= E1y+E2y;
fyo:=tmp*6/(ro*Pi*D*D*D);
end;

```

```

procedure TForm1.Calc1(code:integer);
var k1,k2,k3,k4,m1,m2,m3,m4,n1,n2,n3,n4,p1,p2,p3,p4: extended;
begin
k1:=xt*dt; m1:=yt*dt; n1:= fxi(t,x,y,xt)*dt; p1:= fyi(t,x,y,yt)*dt;
k2:=(xt+n1/2)*dt; m2:=(yt+p1/2)*dt;
n2:= fxi(t+dt/2,x+k1/2,y+m1/2,xt+n1/2)*dt; p2:=
fyi(t+dt/2,x+k1/2,y+m1/2,yt+p1/2)*dt;
k3:=(xt+n2/2)*dt; m3:=(yt+p2/2)*dt;
n3:= fxi(t+dt/2,x+k2/2,y+m2/2,xt+n2/2)*dt; p3:=
fyi(t+dt/2,x+k2/2,y+m2/2,yt+p2/2)*dt;
k4:=(xt+n3)*dt; m4:=(yt+p3)*dt;
n4:= fxi(t+dt,x+k3,y+m3,xt+n3)*dt; p4:= fyi(t+dt,x+k3,y+m3,yt+p3)*dt;
x:=x+(k1+2*k2+2*k3+k4)/6; y:=y+(m1+2*m2+2*m3+m4)/6;
xt:=xt+(n1+2*n2+2*n3+n4)/6; yt:=yt+(p1+2*p2+2*p3+p4)/6;
end;

```

```

procedure TForm1.Calc2(code:integer);
var k1,k2,k3,k4,m1,m2,m3,m4,n1,n2,n3,n4,p1,p2,p3,p4: extended;
begin
k1:=xt*dt; m1:=yt*dt; n1:= fxo(x,y,xt)*dt; p1:= fyo(x,y,yt)*dt;
k2:=(xt+n1/2)*dt; m2:=(yt+p1/2)*dt;
n2:= fxo(x+k1/2,y+m1/2,xt+n1/2)*dt; p2:= fyo(x+k1/2,y+m1/2,yt+p1/2)*dt;
k3:=(xt+n2/2)*dt; m3:=(yt+p2/2)*dt;
n3:= fxo(x+k2/2,y+m2/2,xt+n2/2)*dt; p3:= fyo(x+k2/2,y+m2/2,yt+p2/2)*dt;
k4:=(xt+n3)*dt; m4:=(yt+p3)*dt;
n4:= fxo(x+k3,y+m3,xt+n3)*dt; p4:= fyo(x+k3,y+m3,yt+p3)*dt;
x:=x+(k1+2*k2+2*k3+k4)/6; y:=y+(m1+2*m2+2*m3+m4)/6;
xt:=xt+(n1+2*n2+2*n3+n4)/6; yt:=yt+(p1+2*p2+2*p3+p4)/6;
end;

```

```

procedure TForm1.Ent(kk:integer);

```

```

var tmp :Extended;
begin
  vc:=StrToFloat(LabeledEdit1.Text);
vz:=StrToFloat(LabeledEdit2.Text)/1000000;
  Uk:=StrToFloat(LabeledEdit3.Text);
mu:=StrToFloat(LabeledEdit4.Text)/1000000;
  roa:=StrToFloat(LabeledEdit5.Text)/1000;
ro:=StrToFloat(LabeledEdit6.Text);
  eps:= StrToFloat(LabeledEdit7.Text);
h:=StrToFloat(LabeledEdit8.Text)/1000;
  a1:=StrToFloat(LabeledEdit9.Text)/1000;
L1:=StrToFloat(LabeledEdit10.Text)/1000;
  y0:=StrToFloat(LabeledEdit11.Text)/1000000;
a2:=StrToFloat(LabeledEdit12.Text)/1000;
  L2:=StrToFloat(LabeledEdit13.Text)/1000;
vax:=StrToFloat(LabeledEdit14.Text)/100;
  vay:= 0; D:=StrToFloat(LabeledEdit15.Text)/10000000;
  R:=StrToFloat(LabeledEdit16.Text)/1000000;
Uc:=StrToFloat(LabeledEdit17.Text);
  nL:=StrToInt(LabeledEdit18.Text);
y0max:=StrToFloat(LabeledEdit19.Text)/1000000;
  num:=StrToInt(LabeledEdit20.Text);
eps0:=885/1000000000000000; ee:=1602/1000000000000000000000;
  Ta:= 293; N0:=5000000000000000; k:=138/1000000000000000000000000;
Cc:=1+(1257/1000+(4/10)*exp(-7857000*D))*14/(100000000*D);
  tmax1:=L1/vax;tmax2:=L2/vax; dt:=(L1+L2)/(vax*num);
end;

procedure TForm1.Pr(j1F:integer; j2F:integer);
var xpr, ypr,tmp,tmp1,tmp2,dx,dy,
  Ecx,Ecy,r1,r3,E1,E2,E1xi,E2xi,E1yi,E2yi,LL : Extended;
ar:array [1..10] of extended;
var cx1,cx2,cy2,qtmp,PD:Extended;
var ii,nn:integer;
begin Chart1.LeftAxis.Inverted:=False; ProgressBar1.Visible:=False;
  Chart1LineSeries1.Clear; Chart1LineSeries2.Clear; Chart1LineSeries3.Clear;
  Chart1LineSeries4.Clear; Chart1LineSeries5.Clear;
  Chart1LineSeries1.LinePen.Width:=3; Chart1LineSeries2.LinePen.Width:=3;
  Chart1LineSeries3.LinePen.Width:=3; Chart1LineSeries4.LinePen.Width:=3;
  Chart1LineSeries5.LinePen.Width:=3;
  Chart1.Height:= hCh; Chart1.LeftAxis.Inverted:=False;
  nn:=10000; Ent(nn); LL:=L1+nL*L2+L1/100;
// y(x) ионизация
  if (y0<=R) then begin ShowMessage ('y0 <= R'); abort; end;

```



```

qK:=2*PI*eps0*Uk*h/Ln ((2*a1-R)/R );
if (j1F=0) and(j2F=0) then begin //Chart1.LeftAxis.Inverted:=True;
  ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
  ProgressBar1.Visible:=True;
  ii:=1; xc:=L1/2; ar[1]:=1/10000000;

ar[2]:=3/10000000;ar[3]:=5/10000000;ar[4]:=8/10000000;ar[5]:=10/10000000;
  while ii<6 do begin t:=0; x:=0; y:=y0; xt:=vax; yt:=0; D:=ar[ii];
    while x<L1 do begin
      Calc1(nn); xpr:=x*1000;ypr:=y*1000; if (y>=a1) then break;
      if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
      if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
      if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
      if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
      Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); t:=t+dt;
    end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
    ii:=ii+1;
  end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// Ex(x)
  if (j1F=0) and(j2F=1) then begin //nn:=10000; // Ent(nn);
//Chart1.LeftAxis.Inverted:=True;
  ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
  ProgressBar1.Visible:=True;
  y:=20*a1/100; xc:=L1/2;
  while y<9*a1/10 do begin x:=L1/100;
    while x<L1 do begin
      r1:=Sqrt(Sqr(x-xc)+Sqr(y));
      E1:=(qK/(4*Pi*eps0*h*r1*h))*2*(Sqrt(h*h+r1*r1)-r1);
      r3:=Sqrt(Sqr(x-xc)+Sqr(2*a1-y));
      E2:=(qK/(4*Pi*eps0*h*r3*h))*2*(Sqrt(h*h+r3*r3)-r3);
      E1xi:=E1*(x-xc)/r1; E2xi:=-E2*(x-xc)/r3; Exiq:= E1xi+E2xi;
      xpr:=x*1000;ypr:=Exiq/1000;
      if (y*100<25*a1) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
      if (y*100<40*a1)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
      if (y*100<55*a1)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
      if (y*100<70*a1)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
      Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); x:=x+L1/100;
    end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
    y:=y+15*a1/100;
  end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// Ey (x)
  if (j1F=0) and(j2F=2) then begin

```

```

ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
ProgressBar1.Visible:=True;
y:=20*a1/100; xc:=L1/2;
while y<9*a1/10 do begin x:=L1/100;
while x<L1 do begin
r1:=Sqrt(Sqr(x-xc)+Sqr(y));
E1:=(qK/(4*Pi*eps0*h*r1*h))*2*(Sqrt(h*h+r1*r1)-r1);
r3:=Sqrt(Sqr(x-xc)+Sqr(2*a1-y));
E2:=(qK/(4*Pi*eps0*h*r3*h))*2*(Sqrt(h*h+r3*r3)-r3);
E1yi:=E1*y/r1; E2yi:=E2*(2*a1-y)/r3; Eyi:= E1yi+E2yi;
xpr:=x*1000;ypr:=Eyi/1000;
if (y*100<25*a1) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<40*a1)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<55*a1)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<70*a1)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); x:=x+L1/100;
end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
y:=y+15*a1/100;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// Ec(Uk) y
if (j1F=0) and(j2F=3) then begin //nn:=10000; Ent(nn);
ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
ProgressBar1.Visible:=True;
y:=20*a1/100;
while y<9*a1/10 do begin x:=2000;
while x<12000 do begin
r1:=2*a1-y; tmp:=(Sqr(L1/(2*r1))+1)/(Sqr(L1/(2*y))+1);
Ecx:=(qk/(2*Pi*eps0*h*L1))*ln(tmp);
tmp:=arctan(L1/(2*y))+arctan(L1/(2*r1));
Ecy:=(qk/(2*Pi*eps0*h*L1))*tmp; E1:=Sqrt(Ecx*Ecx+Ecy*Ecy);
xpr:=x/1000;ypr:=E1*x/(Uk*1000);
if (y*100<25*a1) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<40*a1)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<55*a1)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<70*a1)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); x:=x+100;
end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
y:=y+15*a1/100;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// vx(x) ионизация
if (j1F=0) and(j2F=5) then begin // nn:=10000; Ent(nn);
ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;

```

```

ProgressBar1.Visible:=True;
ii:=1;xc:=L1/2; ar[1]:=1/10000000;

ar[2]:=3/10000000;ar[3]:=5/10000000;ar[4]:=7/10000000;ar[5]:=9/10000000;
while ii<6 do begin
  x:=0; y:=y0; xt:=vax; yt:=0;t:=0; D:=ar[ii];
  while x<L1 do begin
    Calc1(nn); xpr:=x*1000;ypr:=xt;
    if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
    Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); t:=t+dt;
  end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
  ii:=ii+1;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// vy(x) ионизация
if (j1F=0) and(j2F=6) then begin // nn:=10000; Ent(nn);
  ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
  ProgressBar1.Visible:=True;
  ii:=1;xc:=L1/2; ar[1]:=1/10000000;

ar[2]:=3/10000000;ar[3]:=5/10000000;ar[4]:=7/10000000;ar[5]:=9/10000000;
while ii<6 do begin
  x:=0; y:=y0; xt:=vax; yt:=0;t:=0; D:=ar[ii];
  while x<L1 do begin
    Calc1(nn); xpr:=x*1000;ypr:=yt;
    if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
    Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); t:=t+dt;
  end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
  ii:=ii+1;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// Ek(Uk) dy(dx)
if (j1F=0) and(j2F=4) then begin //nn:=10000; Ent(nn);
  ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
  ProgressBar1.Visible:=True; R:=5/10000;
  while R<26/10000 do begin dx:=2000;
    while dx<12200 do begin tmp:=h*Ln ( (2*a1-R)/R );
      tmp1:=Sqrt(h*h+R*R)/R-1+Sqrt(h*h+Sqr(2*a1-R))/(2*a1-R)-1;

```

```

dy:=dx*tmp1/tmp; dy:=dx/(R*Ln ( (2*a1-R)/R ));
if (dy/1000>3000)then break; xpr:=dx/1000;ypr:=dy/1000;
if (R<6/10000) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
if (R<11/10000)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
if (R<16/10000)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
if (R<21/10000)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); dx:=dx+100;
end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
R:=R+5/10000;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// q(x)/e
if (j1F=0) and(j2F=7) then begin //nn:=10000; Ent(nn);
ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
ProgressBar1.Visible:=True;
y:=20*a1/100; xc:=L1/2;
while y<9*a1/10 do begin x:=L1/100; t:=x/vax;
tmp:=2*Pi*eps0*D*k*Ta*ln(1+D*vc*N0*ee*ee*t/(8*eps0*k*Ta))/(ee*ee);
while x<L1 do begin
dy:=qeion(t,y)+tmp; x:=t*vax; xpr:=x*1000;ypr:=dy;
if (y*100<25*a1) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<40*a1)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<55*a1)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<70*a1)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); t:=t+tmax1/100;
end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
y:=y+15*a1/100;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// q(D)/e
if (j1F=0) and(j2F=8) then begin //nn:=10000; Ent(nn);
ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
ProgressBar1.Visible:=True;
y:=20*a1/100; xc:=L1/2;
while y<9*a1/10 do begin D:=1/100000000;
tmp:=2*Pi*eps0*D*k*Ta*ln(1+D*vc*N0*ee*ee*L1/(vax*8*eps0*k*Ta))/(ee*ee);
while D<12/100000000 do begin
dy:=qeion(L1/vax,y)+tmp; xpr:=D*1000000;ypr:=dy;
if (y*100<25*a1) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<40*a1)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<55*a1)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
if (y*100<70*a1)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else

```

```

    Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,""); D:=D+1/100000000;
    end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
    y:=y+15*a1/100;
    end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;

// y(x) осаждение
if (j1F=1) and(j2F=0) then begin
    ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
    ProgressBar1.Visible:=True;
    ii:=1; ar[1]:=1/10000000;

ar[2]:=3/10000000;ar[3]:=5/10000000;ar[4]:=8/10000000;ar[5]:=10/10000000;
    tmp:=2*a2/L2;
    tmp1:=tmp*arctan(1/tmp)+(1/2)*ln(1+tmp*tmp);
    qc:=Pi*eps0*h*Uc/tmp1; QQ:=qc/(2*Pi*eps0*h*L2);
    while ii<6 do begin t:=0; x:=0; y:=y0; xt:=vax; yt:=0; D:=ar[ii];
        q:=
(2*Pi*eps0*D*k*Ta/ee)*Ln(1+D*vc*N0*ee*ee*L1/(vax*8*eps0*k*Ta))+ee*qeio
n(L1/vax,y0);
        while x<L2 do begin
            Calc2(nn);
            xpr:=x*1000;ypr:=y*1000; if (y>=a2) then break;
            if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,"")else
            if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,"")else
            if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,"")else
            if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,"")else
            Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,""); t:=t+dt;
            end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
            ii:=ii+1;
        end; ProgressBar1.Visible:=False;
    end;

// Ex(x) осаждение
if (j1F=1) and(j2F=1) then begin
    ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
    ProgressBar1.Visible:=True;
    ii:=1; ar[1]:=a2/12;
    ar[2]:=a2/4;ar[3]:=a2/2;ar[4]:=3*a2/4;ar[5]:=a2*11/12;
    tmp:=2*a2/L2;
    tmp1:=tmp*arctan(1/tmp)+(1/2)*ln(1+tmp*tmp);
    qc:=Pi*eps0*h*Uc/tmp1; QQ:=qc/(2*Pi*eps0*h*L2);
    dx:=L2/1000;
    while ii<6 do begin t:=0; x:=0; y:=ar[ii]; xt:=vax;
        while x<L2 do begin

```

```

fxo(x,y,xt); xpr:=x*1000;ypr:=Exiq/1000;
if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); x:=x+dx;
end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
ii:=ii+1;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// Ey(x) осаждение
if (j1F=1) and(j2F=2) then begin //nn:=10000; Ent(nn);
ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5;
ProgressBar1.Step:=1;
ProgressBar1.Visible:=True;
ii:=1; ar[1]:=a2/12;
ar[2]:=a2/4;ar[3]:=a2/2;ar[4]:=3*a2/4;ar[5]:=a2*11/12;
tmp:=2*a2/L2;
tmp1:=tmp*arctan(1/tmp)+(1/2)*ln(1+tmp*tmp);
qc:=Pi*eps0*h*Uc/tmp1; QQ:=qc/(2*Pi*eps0*h*L2);
dx:=L2/1000;
while ii<6 do begin x:=0; yt:=0; y:=ar[ii];
while x<L2 do begin
fyo(x,y,yt);
if (ii=5) then Eyiq:=( Pi+arctan((L2-x)/a2)+arctan(x/a2)
)*qc/(2*Pi*eps0*h*L2);
xpr:=x*1000;ypr:=Eyiq/1000;
if (ii<2-1/100) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
if (ii<3-1/100)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
if (ii<4-1/100)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
if (ii<5-1/100)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); x:=x+dx;
end;
ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
ii:=ii+1;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// vx(x) осаждение
if (j1F=1) and(j2F=5) then begin
ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
ProgressBar1.Visible:=True;
ii:=1; ar[1]:=1/10000000;
ar[2]:=3/10000000;ar[3]:=5/10000000;ar[4]:=8/10000000;ar[5]:=10/10000000;

```

```

tmp:=2*a2/L2;
tmp1:=tmp*arctan(1/tmp)+(1/2)*ln(1+tmp*tmp);
qc:=Pi*eps0*h*Uc/tmp1; QQ:=qc/(2*Pi*eps0*h*L2);
while ii<6 do begin t:=0; x:=0; y:=y0; xt:=vax; yt:=0; D:=ar[ii];
  q:=
(2*Pi*eps0*D*k*Ta/ee)*Ln(1+D*vc*N0*ee*ee*L1/(vax*8*eps0*k*Ta))+ee*qeio
n(L1/vax,y0);
  while x<L2 do begin
    Calc2(nn);
    xpr:=x*1000;ypr:=xt; if (y>=a2) then break;
    if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,"")else
    if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,"")else
    if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,"")else
    if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,"")else
    Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,""); t:=t+dt;
  end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
  ii:=ii+1;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// vy(x) осаждение
if (j1F=1) and(j2F=6) then begin
  ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5; ProgressBar1.Step:=1;
  ProgressBar1.Visible:=True;
  ii:=1; ar[1]:=1/10000000;

ar[2]:=3/10000000;ar[3]:=5/10000000;ar[4]:=8/10000000;ar[5]:=10/10000000;
  tmp:=2*a2/L2;
  tmp1:=tmp*arctan(1/tmp)+(1/2)*ln(1+tmp*tmp);
  qc:=Pi*eps0*h*Uc/tmp1; QQ:=qc/(2*Pi*eps0*h*L2);
  while ii<6 do begin t:=0; x:=0; y:=y0; xt:=vax; yt:=0; D:=ar[ii];
    q:=
(2*Pi*eps0*D*k*Ta/ee)*Ln(1+D*vc*N0*ee*ee*L1/(vax*8*eps0*k*Ta))+ee*qeio
n(L1/vax,y0);
    while x<L2 do begin
      Calc2(nn);
      xpr:=x*1000;ypr:=yt; if (y>=a2) then break;
      if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,"")else
      if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,"")else
      if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,"")else
      if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,"")else
      Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,""); t:=t+dt;
    end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
    ii:=ii+1;
  end; ProgressBar1.Visible:=False;

```

```

end;
// y(x)|y0
if (j1F=2) then begin //Chart1.LeftAxis.Inverted:=True;
  ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=10; ProgressBar1.Step:=1;
  ProgressBar1.Visible:=True;
  ii:=1; xc:=L1/2; ar[1]:=y0;
  ar[2]:=y0+(y0max-y0)/4;ar[3]:=y0+2*(y0max-y0)/4;ar[4]:=y0+3*(y0max-
y0)/4;ar[5]:=y0max;
  tmp:=2*a2/L2;
  tmp1:=tmp*arctan(1/tmp)+(1/2)*ln(1+tmp*tmp);
  qc:=Pi*eps0*h*Uc/tmp1; QQ:=qc/(2*Pi*eps0*h*L2);
  while ii<6 do begin t:=0; x:=0; xt:=vax; yt:=0; y:=ar[ii];
  while x<L1 do begin
    Calc1(nn); xpr:=x*1000;ypr:=y*1000; if (y>=a1) then break;
    if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,"")else
    if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,"")else
    if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,"")else
    if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,"")else
    Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,""); t:=t+dt;
  end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
// осаждение
  if (y<a1) then begin
    while x<LL do begin
      Calc2(nn); xpr:=x*1000;ypr:=y*1000; if (y>=a1) then break;
      if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,"")else
      if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,"")else
      if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,"")else
      if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,"")else
      Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,""); t:=t+dt;
    end; ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
  end;
  ii:=ii+1;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
// T/T1
if (j1F=3) then begin
  ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5;
ProgressBar1.Step:=1;
  ProgressBar1.Visible:=True;
  ii:=1; ar[1]:=7/100;
  ar[2]:=8/100;ar[3]:=9/100;ar[4]:=10/100;ar[5]:=11/100;
  r1:=4/10; r3:=92/100; dx:=r1;
  Chart1.BottomAxis.Range.Min:=35/100;
  Chart1.BottomAxis.Intervals.Count:=8;

```



```

Chart1.BottomAxis.Intervals.MinLength:=20;
Chart1.BottomAxis.Intervals.MaxLength:=50;
while ii<6 do begin PD:=ar[ii]; dx:=r1;
  while dx<r3 do begin
    xpr:=dx;ypr:=ln(1-dx)/ln(1-PD);
    if (ypr>100)then break;
    if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
    Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); dx:=dx+1/100;
  end;
ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
  ii:=ii+1;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
if (j1F=4) then begin
  ProgressBar1.Position:=0; ProgressBar1.Max:=5;
ProgressBar1.Step:=1;
  ProgressBar1.Visible:=True;
  ii:=1; ar[1]:=12/100;
  ar[2]:=14/100;ar[3]:=16/100;ar[4]:=18/100;ar[5]:=20/100;
  r1:=4/10; r3:=91/100; dx:=r1;

Chart1.BottomAxis.Range.Min:=35/100;Chart1.BottomAxis.Intervals.Count:=8;
Chart1.BottomAxis.Intervals.MaxLength:=100;
Chart1.BottomAxis.Intervals.MinLength:=20;
while ii<6 do begin PD:=ar[ii]; dx:=r1;
  while dx<r3 do begin
    xpr:=dx;ypr:=ln(1-dx)/ln(1-PD);
    if (ypr>100)then break;
    if (ii<2) then Chart1LineSeries1.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<3)then Chart1LineSeries2.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<4)then Chart1LineSeries3.AddXY(xpr,ypr,")else
    if (ii<5)then Chart1LineSeries4.AddXY(xpr,ypr,")else
    Chart1LineSeries5.AddXY(xpr,ypr,"); dx:=dx+1/100;
  end;
ProgressBar1.Position:=ProgressBar1.Position+ProgressBar1.Step;
  ii:=ii+1;
end; ProgressBar1.Visible:=False;
end;
end;
end;
end.

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б**Техническое обслуживание установки для обеспыливания и
обеззараживания воздуха**

1. Для обеспечения бесперебойной и длительной работы установки необходимо проводить периодическое обслуживание.

2. Перед началом работы нужно произвести внешний осмотр установки, обратив внимание на надежность подключения высоковольтных разъемов и проверку заземления.

3. После окончания работы очистить наружные поверхности установки, блок управления от пыли и грязи.

4. При большой запыленности электродов возможен пробой между ними, сопровождающийся характерным треском.

В этом случае необходимо промыть установку. Для этого следует:

- отключить установку, отсоединить провод заземления;
- перевезти установку в моечное отделение;
- разъединить зону ионизации и зону осаждения, вытащить пластины зоны ионизации и зоны осаждения;
- промыть пластины установки струей теплой воды;
- после промывки установить пластины зоны ионизации и зон осаждения в установку, соединить их между собой;
- перевезти установку на рабочее место;
- подготовить установку к работе;
- включить вентилятор и дать установке поработать в течение 30-40 мин. с тем, чтобы высушить электроды;
- включить установку, отрегулировать напряжение на электродах.

Требования безопасности на установку для обеспыливания и обеззараживания воздуха

1. Установка должна соответствовать требованиям действующих «Правил устройства электроустановок», «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».

2. Отрицательные электроды установки должны быть изолированы от корпуса. Не допускается пробой между отрицательными электродами и корпусом при максимальном напряжении на электродах установки, создаваемом блоком управления.

3. Значение сопротивления между заземляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью установки, которая может оказаться под напряжением, не должно превышать 0,1 Ом.

4. Рама установки должна иметь болт заземления, выполненный в удобном для подключения месте. Болт заземления не должен быть покрыт лакокрасочным покрытием. Возле болта защитного заземления должен быть нанесен знак (рисунок).



Рисунок 1 – Знак «Заземление»

5. Все электрооборудование установки должно быть испытано на пробой током повышенного напряжения промышленной частоты в течение 1 мин.

6. Для предотвращения попадания людей под напряжение при ТО на корпусе должен быть установлен микровыключатель, обеспечивающий отключение цепи питания установки при разъединение зоны ионизации и осаждения.

7. Установка должна иметь автоматический разрядник для снятия остаточного напряжения с электродов при техническом обслуживании установки и ремонте. Время разряда не должно превышать 5с после отключения установки.

8. На установке должен быть ручной разрядник для снятия остаточного напряжения с электродов перед техническим обслуживанием или ремонтов установки.

9. На корпусе установки должен быть знак высокого напряжения (рисунок 2)



Рисунок 2 – Знак высокого напряжения

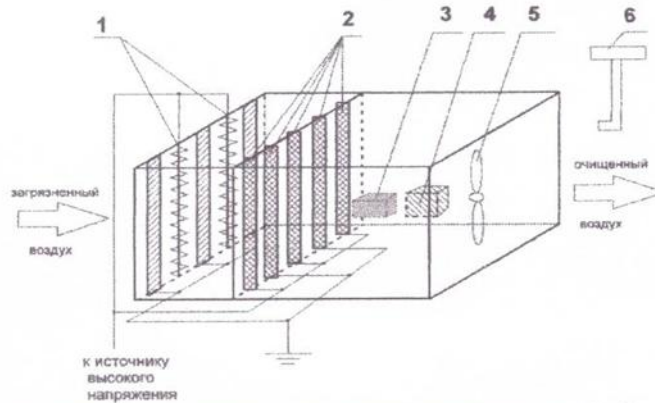
10. Изоляция соединителей и высоковольтных проводов высоковольтного источника должна выдерживать испытательное напряжение 20 кВ.



АКТ внедрения результатов диссертационной работы

Мы, нижеподписавшиеся, и.о. директора института зоотехнии и биологии Юлдашбаев Юсупжан Артыкович, д.с.-х.н, профессор, академик РАН; заведующий лабораторией ФГБНУ ФНАЦ ВИМ Юферев Леонид Юрьевич, д.т.н., доцент и и.о. руководителя зоостанции Пантелеев Алексей Александрович, составили настоящий акт о том, что результаты научных исследований старшего преподавателя кафедры «Автоматизация и роботизация технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина» института механики и энергетики имени В.П. Горячкина Селезневой Дарьи Михайловны, реализованные в виде комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания птицеводческих помещений, использованы в учебно-производственном птичнике для снижения пылевых частиц, бактериальной обсемененности и загазованности воздуха в боксах с птенцами перепелов.

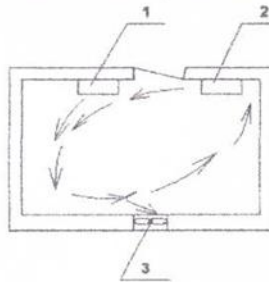
Комбинированная установка для обеспыливания и обеззараживания воздуха представлена на рисунке 1.



1 – коронирующие электроды; 2 – осадительные заземленные электроды; 3 – бактерицидная лампа; 4 – озоноразрушающая лампа; 5 – вентилятор; 6 – датчик пыли
Рисунок 1 – Схема комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха птицеводческих помещений

Принцип действия установки основан на методе осаждения пыли в электростатическом поле и осуществляется следующим образом. Установку заземляют и подключают к сети. Между положительно и отрицательно заряженными электродами образуется электростатическое поле. С отрицательно заряженных электродов ионизатора начинают стекать электроны и ионизировать воздух. Под действием ионов происходит зарядка пылевых частиц, которые, попадая между электродами осадительной зоны, притягиваются к ним под действием электростатического поля. Очищенный от пыли и ионизированный воздух подается в зону с бактерицидным облучателем. Под действием ультрафиолетового облучения с длиной волны 254 нм происходит заключительный этап очистки воздуха от микроорганизмов.

Испытания комбинированной электроустановки в птицеводческом помещении было проведено на базе Тимирязевского птичника (Учебно-производственного птичника). Испытания проводились на 2 групп птенцов перепелок по 35 штук в каждой группе. Содержание птенцов напольное в боксе размером 310х268 см высотой 280 см. До посадки здоровых птенцов была проведена механическая дезинфекция, а именно механическая очистка, мойка боксов и оборудования, далее провели аэрозольную обработку поверхностей и оборудования. Выращивали птенцов в клетках до возраста 28 дней. Расположение комбинированной электроустановки в опытном боксе приведено на рисунке 1. Производительность электроустановки составляет 20 м³/ч. Расположение установки в опытном боксе приведено на рисунке 2.



1 – система вентиляции птичника; 2 – электроустановка; 3 – вытяжной вентилятор
Рисунок 2 – Расположение электроустановки в опытном боксе (вид сверху)

Исследование комбинированной электроустановки проходило в три этапа.

На первом этапе исследования был проведен эксперимент по выявлению запыленности птицеводческих помещений (рис. 3). Количество пылевых частиц измеряли счетчиком аэрозольных частиц ПК.ГТА-0,3-002 в опытном боксе 2 раза в день (перед включением и после 3 часов работы установки) в течение 28 дней, в контрольном боксе – один раз в день.

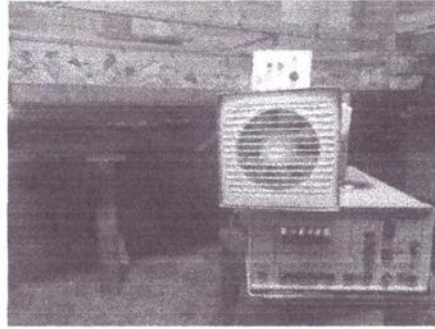


Рисунок 3 – Комбинированная электроустановка для обеспыливания и обеззараживания воздуха в птицеводческом помещении

Результаты данного эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования по выявлению запыленности птицеводческих помещений

Дни	Опытный бокс						Контрольный бокс		
	До включения установки			После 3 часов работы установки			Размер частиц, мкм		
	Размер частиц, мкм			Размер частиц, мкм					
	0,3	0,5	0,8	0,3	0,5	0,8	0,3	0,5	0,8
Кол-во частиц, шт	Кол-во частиц, шт	Кол-во частиц, шт	Кол-во частиц, шт	Кол-во частиц, шт	Кол-во частиц, шт	Кол-во частиц, шт	Кол-во частиц, шт	Кол-во частиц, шт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	13960	1643	7733	3113	457	65	13853	1626	1300
2	4408	556	114	1404	450	192	14864	1383	596
3	1932	798	398	1043	133	30	17250	800	218
4	482	192	620	460	156	166	19575	2051	391
5	2422	268	234	22998	2250	542	24692	2282	470
6	2360	366	287	8310	310	180	10672	1629	389
7	2186	454	86	16078	792	256	4798	622	572
8	3996	724	346	956	246	182	3710	962	736
9	2834	660	396	2594	520	66	4100	1362	3660
10	2216	586	142	2096	2484	1134	5621	2081	3021
11	3560	1344	816	1236	540	426	6684	3466	2416
12	2418	950	518	1046	354	402	7206	4209	2183
13	3072	2356	1426	5898	2700	1510	10684	5074	3072
14	3256	1932	1240	2428	1352	1098	7620	4501	1956
15	7324	2584	1096	5112	1680	848	5500	3328	1574
16	8088	1950	1058	6062	1716	754	8301	4520	2717
17	13826	2058	1238	11728	3076	3976	12380	3232	1816
18	25630	8922	6924	6310	4600	3616	14832	4590	3997
19	22150	6552	7562	14034	5870	4632	29566	18562	12744
20	13884	8684	7958	18178	8400	8044	21742	12864	10407
21	20502	7266	4914	8568	5686	5321	44152	9502	9276

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	14284	5828	4978	6943	2603	2320	33901	5608	3790
23	9510	6180	3549	3660	948	881	41280	1570	1300
24	20680	12900	10300	10560	7740	4380	26890	3061	2095
25	27800	8210	5140	18770	1750	740	23840	6950	6290
26	6520	1640	1270	4520	690	200	11712	5397	4502
27	10740	1800	1090	5370	990	739	9820	6290	3730
28	9638	2973	959	6395	1048	639	9405	5907	3409

Из результатов исследования следует, что при работе комбинированной электроустановки в течение 3 часов в течение 28 дней на 5 сутки концентрация пылевых частиц менее 0,5 мкм возрастает, что говорит, о необходимости проведения очистки осадительных электродов от осевшей пыли. Также, вне зависимости от размеров пылевых частиц в боксе с электроустановкой для обеспыливания и обеззараживания воздуха концентрация пыли снижается.

Во втором этапе исследований определялось количество микроорганизмов и вредных газовых составляющих в опытном и контрольном боксах птичника. При микробиологическом исследовании поверхности в помещениях птичника делался смыв, полученный при помощи стерильной марлевой салфетки размером 5x5 см, смоченной стерильным физиологическим раствором. Затем салфетку встряхивают в пробирке с определенным количеством физического раствора в течение 10 минут для десорбции микробов с салфетки. Количество микроорганизмов в смывной жидкости определяют методом глубинного посева с последующим пересчетом колоний. Параметры и химический состав воздуха определяли приборами «Метеоскоп-М», «Testo 440» и газоанализатором H-320.

Пробы воздуха были проведены в центре помещений на высоте 1 метр от пола. Время работы установки в сутки – 3 часа. Параметры микроклимата во время проведения опытов были следующие:

- температура воздуха в помещении $+18,51 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$,
- влажность воздуха в помещении $71,3 \pm 3,0\%$.
- атмосферное давление 750 ± 1 мм. рт. ст.

Результаты исследований были обработаны в ООО «Экологическая экспертиза», г. Москва, Остаповский проезд, д.12, стр. 6.

В таблице 2 представлены результаты исследований микроорганизмов (бактерий групп кишечных палочек (БГКП)), в таблице 3 – углекислого газа и аммиака в опытном и контрольном боксах.

Таблица 2 – Результаты микробиологического смыва с поверхности

Место отбора	Определяемые показатели, единица измерений	Результаты исследований
Опытный бокс	БГКП, КОЕ/100 см ²	$5,49 \cdot 10^4$
Контрольный бокс	БГКП, КОЕ/100 см ²	$9,25 \cdot 10^4$

Таблица 3 – Результаты химического анализа воздуха

№ п/п	Исследуемые компоненты	Единица измерения	Место проведения исследования	
			Опытный бокс	Контрольный бокс
1	Углерода диоксид	ppm	1234±43	1276±41
2	Аммиак	мг/м ³	0,969	1,749

Результаты эксперимента показали, что в опытном боксе бактерицидная обсеменённость снизилась на 59%, концентрация углекислого газа снизилась почти на 4%, на 3 день работы электроустановки концентрация аммиака снизилась почти на 45%.

На третьем этапе исследований определяли влияние санации воздуха на живую массу птицы. Результаты прироста живой массы цыплят в боксе с использованием комбинированной электроустановки для очистки воздуха боксов птичника с анализом этапов увеличения живой массы в сравнении с контрольным боксом отражены в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние санации воздуха на живую массу

Возраст цыплят, дней	Опытный бокс	Контрольный бокс
	Живая масса, г	Живая масса, г
0	8,45±0,91	8,31±0,79
7	30,2±3,85	28,6±2,59
14	61,1±7,61	52,2±6,78
21	99,7±9,53	83,1±10,64
28	142,6±11,78	118,5±12,27

Данные результаты свидетельствуют о том, что использование разработанной комбинированной электроустановки позволило увеличить прирост живой массы относительно прототипа на контрольных отметках: 7 день эффективность была на 5,03 %, 14 день эффективность была на 14,5 %, 21 день эффективность была на 16,65 %, 28 день эффективность была на 20,3%.

И.о. директора института
зоотехнии и биологии

Ю.А. Юлдашбаев

И.о. руководителя зоостанции

А.А. Пантелеев

Заведующий лабораторией
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Л.Ю. Юферев

Ст. преподаватель
кафедры АирТП
имени академика И.Ф. Бородина

Д.М. Селезнева



105082, г. Москва, Переводчиковский пер., д. 13-16, этаж 3, оф. 216-218
Тел. +7 (495) 653 55 96; E-mail: info@ecostandard.ru

195015, г. Санкт-Петербург, Фурцевский пер., д. 3, оф. 232
Тел. +7 (812) 454 45 96; E-mail: spb@ecostandard.ru

630005, г. Новосибирск, ул. Советская, д. 64, оф. 504
Тел. +7 (383) 207 56 41; E-mail: nsk@ecostandard.ru

www.ecostandardgroup.ru

Технический отчет по результатам экологических исследований

Адрес: Москва, Остаповский проезд, д. 12, стр. 6

Состав работ:

Микробиологический смыв с поверхности

Химический анализ воздуха

Генеральный директор

ООО «Экологическая экспертиза»

Веселова К.А.

Ответственный специалист

Гончаренко С.Н.

30 июня 2021 г.

Москва

Содержание

1. Введение.....	3
2. Состав исследований.....	3
3. Сведения об организациях и исполнителях.....	3
4. Перечень нормативно-технической документации.....	4
5. Характеристика объекта исследования.....	4
6. Результаты исследований.....	5
7. Выводы.....	6
Приложение 1. Копии протоколов исследования испытательной лаборатории ООО «ЭСГ «Охрана труда» и Микробиологической испытательной лаборатории ООО «ЭСГ «Охрана труда»	

4. Перечень нормативно-технической документации

1. МУК 4.2.734-99 «Микробиологический мониторинг производственной среды».
2. МУК 4.2.2942-11 «Методы санитарно-бактериологических исследований объектов окружающей среды, воздуха и контроля стерильности в лечебных организациях».
3. ГОСТ 17.2.6.02-85 «Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Газоанализаторы автоматические для контроля загрязнения атмосферы»;
4. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

5. Характеристика объекта исследования

Дата:

10 июня 2021 г.

Адрес:

Москва, Верхняя аллея, д. 3с1.

Тип помещения:

Рабочее помещение птичника.

Особые условия:

Нет.

Дополнительная информация:

Оценка общей экологической ситуации объекта – микробиологический смыв с поверхностей и химический анализ воздуха в помещении птичника.

6. Результаты исследований

Микробиологический смыв с поверхности*

Результаты бактериологических исследований:			
Место отбора	Определяемые показатели, единицы измерения	Результаты исследований	Гигиенический норматив
Опытный бокс	БГКП, тыс. КОЭ/м ³	54,9	-
Контрольный бокс	БГКП тыс. КОЭ/м ³	92,5	-

*- согласно Протоколу № 0220/100621-С-1 от 28.06.2021 г.

Химический анализ воздуха*

№ п/п	Исследуемые компоненты	Ед. изм.	Место проведения исследования:		ПДУ**
			Опытный бокс	Контрольный бокс	
1.	Углерода диоксид	ppm	1234±43	1276±41	-
2.	Аммиак	мг/м³	0,969	1,749	0,2

*- согласно протоколу 7345/100621-ВХ-1 от 18.06.2021 г.

** - согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

7. Выводы

1. Микробиологические смывы с поверхностей в производственных помещениях **выявили** роста колоний бактерий группы кишечной палочки, что говорит о неблагоприятной санитарной обстановке.
2. Химический анализ воздуха выявил **несоответствие** СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» по показателю **аммиак**.

1. Введение

Организация действовала в соответствии с Законом как независимый специалист и не имеет никакой финансовой, имущественной или какой-либо иной заинтересованности в результатах проведения исследований.

Организация, ее руководитель, равно как и специалисты, проводившие данные исследования, не находились и не находятся в какой-либо зависимости от органа или лица, назначившего исследование.

Данное заключение дано только на основании результатов проведенных исследований в соответствии со специальными познаниями специалистов.

2. Состав исследований

Целью данного исследования является санитарно-гигиеническая оценка рабочего помещения.

В ходе данной экспертизы были поставлены и выполнены следующие задачи:

- Проведен микробиологический смыв с поверхностей в рабочем помещении птичника;
- Проведен химический анализ воздуха в рабочем помещении птичника;
- Камеральная обработка материалов работ, составление технического отчета по результатам исследований.

3. Сведения об организациях и исполнителях

Исследования проведены следующими специалистами, обладающими требуемыми познаниями и квалификацией:

- Гончаренко Сергей Николаевич – специалист ООО «ЭСГ «Охрана труда»;
- Добрицкая Елена Юрьевна – руководитель испытательной лаборатории ООО «ЭСГ «Охрана труда»;
- Алешко Анастасия Михайловна – руководитель микробиологической лаборатории «ЭСГ «Охрана труда».

**Испытательная лаборатория
ООО «ЭСГ «Охрана труда»**

Аккредитованная Испытательная лаборатория

Фактический адрес:

105082, г. Москва, Переведеновский пер., д.13, стр.16

Юридический адрес:

105005, Россия, г. Москва, ул. Нахаева, д. 8, стр. 2, пом. 8, комн. 18

Тел/факс: (495)229-14-92/(495)229-14-90

Аттестат аккредитации РОСС RU.0001.519176

**Протокол лабораторных испытаний
№ 7345/100621-ВХ-1 от «18» июня 2021 г.**

1. **Заказчик:** Селезнёва Дарья Михайловна
2. **Место проведения исследований:** Москва, Верхняя аллея, д. 3с1
3. **Характеристика объекта:** Атмосферный воздух.
4. **Дата проведения измерений:** 10.06.2021 г.
5. **Параметры микроклимата при проведении обследования:**
температура воздуха в помещениях = + 18,51±0,2 °С,
влажность воздуха в помещениях = 71,3±3,0 %,
атмосферное давление = 750±1 мм.рт.ст.

6. Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Зав.№	№ свидетельства о поверке	Срок действия свидетельства	Кем выдано свидетельство
1.	Измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М»	56512	207/19-11968п	07.11.2021 г.	ФГУП «ВНИИМС»
5.	Testo 440	83217469	С-МА/20-01-2021/31328946	19.01.2022 г.	ФБУ «РОСТЕСТ-МОСКВА»
7.	Газоанализатор Н-320	147-1-13	505	24.09.2021 г.	ООО «ПромМашТест»

7. **НД, устанавливающие метод проведения измерений:** Руководство по эксплуатации на газоанализатор Н-320 ИРМБ 413312.003-10 РЭ.
8. **Дополнительная информация:** Нет.

Протокол 7345/100621-ВХ-1	от 18.06.2021 г.	стр. 1 из 2
---------------------------	------------------	-------------

*Частичная или полная перепечатка протокола без разрешения ИЛ запрещена.
Результаты испытаний распространяются только на представленный образец*