

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.Г. ШУХОВА»

На правах рукописи



Колесников Максим Сергеевич

**СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ С
ЭЛЕМЕНТАМИ ОХРАНЫ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА**

Специальность 2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Ильина Татьяна Николаевна

Белгород 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИЯХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	10
1.1 Описание существующей экологической обстановки на территории и производственных помещениях свиноводческих комплексов.....	10
1.2 Общие сведения о свиноводческих комплексах.....	14
1.2.1 Классификация свиноводческих комплексов.....	14
1.2.2 Способы организации воздухообмена в производственных цехах свиноводческих комплексов.....	18
1.3 Анализ вредных выделений в помещениях животноводческих комплексов и способы их удаления.....	22
1.4 Способы переработки и утилизации отходов животноводческих предприятий.....	25
1.5 Методологические основы, цель и задачи исследования.....	27
1.6 Выводы.....	29
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ И ТЕПЛО-МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	30
2.1 Принципы математического моделирования гидроаэродинамики и тепло-массообменных процессов в производственных помещениях.....	30
2.2 Выбор программы и моделирование динамики воздушных потоков в производственных помещениях с различной системой организации воздухообмена.....	35
2.3 Описание тепло-массообменных процессов и разработка модельной установки рекуператора на основе гидродинамического подобия процессов... 2.3.1 Описание тепло-массообменных процессов в рекуператоре..... 2.3.2 Основы гидродинамического подобия тепло-массообменных процессов, разработка модельной установки.....	45 45 48
2.4 Исследование влияния режимных параметров на тепло-массообменные процессы в модельной установке рекуператора.....	52

2.5 Теоретические исследования процессов конденсации паров воды в теплообменном устройстве при различных теплофизических параметрах среды и концентрации вредных примесей	55
2.6 Выводы	59
ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА В ЦЕХАХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	61
3.1 Характеристика объекта исследования.....	61
3.2 Расчет приточно-вытяжной системы вентиляции откормочного цеха свиного комплекса	63
3.2.1 Расчет требуемого воздухообмена для удаления вредных поступлений.....	64
3.2.2 Расчет теплового баланса животноводческих помещений	68
3.3 Обоснование и выбор способов организации воздухообмена на основе математического моделирования для различных периодов года	71
3.4 Разработка экспериментальной установки и проведение исследований	76
3.4.1 Схема и описание модельной установки тепло-массообменного устройства (ТМУ)	76
3.4.2 Экспериментальные исследования тепло-массообменных процессов в модельной установке	79
3.4.3 Экспериментальные исследования по улавливанию аммиака.....	85
3.5 Аэродинамический расчет разработанной системы вентиляции, подбор оборудования	90
3.6 Выводы	95
ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	97
4.1 Метод биоремедиации для снижения вредных поступлений в животноводческие помещения	97
4.2 Экспериментальные исследования деструкторов запахов	105
4.2.1 Схема и описание экспериментальной установки.....	105
4.2.2 Анализ результатов лабораторных исследований деструкторов.....	108
4.3 Выводы	114

ГЛАВА 5 ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТОК.....	115
5.1 Экспериментальные исследования биопрепаратов для снижения выделения запахов в лагунах	115
5.2 Расчет сметной стоимости и оценка экологической эффективности разработанной системы вентиляции	125
5.3 Разработка энергоэффективной программы расчета системы вентиляции животноводческого помещения свиноводческого комплекса	128
5.4 Выводы	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	131
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	134
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Патент № 2799158 «Система вентиляции животноводческих помещений».....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Аэродинамический расчет вентиляционных систем.....	146
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Расчет сметной стоимости разработанной системы вентиляции	151
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Стоимость тепло-массообменной установки по типу «труба в трубе».....	173
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Программа расчета комплексной системы вентиляции животноводческих помещений.....	174
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Акт о внедрении в проектирование материалов диссертационной работы - методики расчета энергоэффективной системы вентиляции с элементами утилизации тепла.....	179
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Свидетельство № 2023666853 «Программа расчета теплопроизводительности и коэффициента трансформации теплонасосной установки при различных температурах наружного воздуха»	180
ПРИЛОЖЕНИЕ И. Акт о внедрении в учебный процесс материалов диссертационной работы	181

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Создание требуемых условий для содержания животных, а также снижение негативного воздействия отходов животноводческих предприятий на окружающую среду являются актуальными проблемами аграрно-промышленного комплекса. Выбросы свиноводческих предприятий способствуют истощению водных ресурсов, загрязнению воздуха аммиаком, пылью и другими биоаэрозолями, что приводит к ухудшению экологической обстановки как на территории животноводческих предприятий, так и прилегающих районов.

Комплексное решение проблемы заключается не только в применении эффективной системы вентиляции в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений, но и внедрении современных технологий по утилизации тепловых выбросов, удалению запахов, улавливанию вредных газов. Разработке системы вентиляции посвящено большое количество работ, однако совершенствование способов создания микроклимата в помещениях животноводческих комплексов с элементами охраны окружающей среды является важной и актуальной задачей.

Работа выполнена в рамках программы «Приоритет-2030» на базе БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022 г., 2023 г., и в рамках проекта «Снижение выбросов на свинокомплексах АПК загрязняющих веществ в атмосферу с очисткой и утилизацией навозно-технологических стоков методами биоремедиации», 2020г.

Степень разработанности темы исследования. Исследованиям в области совершенствования технологий содержания свиней, а также оценки экологической безопасности свиноферм посвящены работы Найденко В.К. (ГНУ СЗНИИМЭСХ, г. Санкт-Петербург). Разработкой устройств для очистки воздуха животноводческих помещений и снижения негативного воздействия отходов животноводства на окружающую среду активно занимаются ученые Миронов В.Н., Гордеев В.В., Хазанов В.Е., Краснова В.Л., Маркова А.Е. (ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Санкт-Петербург), Ашихмина Т.В. (Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж). Известны работы

Ушаковой Н.А. (ФГБУН Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва); Андреева Л.Н. (ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень) и др.

За рубежом решению выше указанных задач и проблем посвящены научные труды Millet S., Omede A.A., Odoemelam V.U., Martinez J., Ogbuewu I.P.

Цель работы: Совершенствование системы создания требуемых параметров микроклимата в помещениях свиноводческих комплексов за счет организации приточно-вытяжной вентиляции и использования технологии биоремедиации для охраны воздушной среды.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- провести исследования тепло-массообменных процессов в животноводческих помещениях различного назначения с учетом избыточных тепло- и влагопоступлений;
- разработать наиболее рациональный способ организации воздухообмена на основании анализа моделей распределения воздушных потоков;
- для утилизации тепла, влаги и улавливания газообразного аммиака в удаляемом воздухе разработать тепло-массообменную установку;
- провести теоретические и экспериментальные исследования тепло- и массообменных процессов в рекуператоре типа «труба в трубе» при различных температурах приточного и вытяжного воздуха;
- провести исследования биодобавок для снижения концентрации вредных пахучих веществ в корпусах содержания животных и удаляемом воздухе;
- разработать патентозащищенную систему вентиляции животноводческих помещений с элементами утилизации тепла, влаги и вредных выбросов;
- разработать инженерную методику расчета энергоэффективной системы вентиляции для производственных помещений свиноводческих комплексов.

Научная новизна исследования:

1. Получены аналитические зависимости температуры и подвижности внутреннего воздуха в производственном помещении животноводческого комплекса от теплотехнических характеристик наружного воздуха для различных периодов года и способов организации воздухообмена. Предложен показатель

эффективности организации воздухообмена, характеризующий интенсивность изменения параметров воздушной среды в производственном помещении от температуры наружного воздуха.

2. Разработан рациональный способ организации воздухообмена, обеспечивающий удаление избытков теплоты из верхней зоны производственного помещения и предотвращающий образование застойных зон вредных газов с высокой плотностью в рабочей зоне содержания животных.

3. Предложено критериальное уравнение с уточненным коэффициентом для расчета процесса теплоотдачи в рекуператоре по типу «труба в трубе». Установлены расчетные и экспериментальные значения концентрации водного раствора аммиачной воды, образуемой в результате улавливания аммиака в тепло-массообменной установке.

4. Получены уравнения для расчета снижения концентрации сероводорода, аммиака и углекислого газа в воздухе производственного помещения для различных видов добавок и времени воздействия деструктора.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке способа снижения вредных выбросов из производственных помещений животноводческих комплексов, обеспечении требуемых параметров микроклимата за счет организации приточно-вытяжной вентиляции с системой рекуперации избыточного тепла и влаги. Предложено уточненное критериальное уравнение для описания тепло-массообменных процессов в рекуператоре, позволяющее прогнозировать работу приточно-вытяжной системы. Получены уравнения влияния вида и концентрации биодеструкторов на снижение концентрации вредных пахучих веществ в производственном помещении с использованием технологии биоремедиации.

Практическая значимость работы.

Разработана система вентиляции животноводческих помещений, включающая тепло-массообменное устройство для утилизации тепло и влагоизбытков, а также улавливания аммиака (патент РФ № 2799158).

Разработана программа для ЭВМ расчета теплопроизводительности и коэффициента трансформации теплонасосной установки, входящей в систему

вентиляции для обеспечения требуемых параметров микроклимата при различных температурах наружного воздуха (свидетельство № 2023666853). Разработана программа инженерного расчета энергоэффективной системы вентиляции и алгоритм комплексной системы создания параметров микроклимата в животноводческих помещениях с использованием технологии биоремидеации.

Методика расчета и результаты программы для ЭВМ использованы в практике проектирования в ООО «Интеллектуальные теплоэнергетические системы», а также в учебном процессе для лекционных, лабораторных и практических занятий, курсовом и дипломном проектировании для студентов бакалавриата направления 08.03.01 «Строительство» и магистратуры направления 08.04.01 «Строительство».

Методология и методы исследования. Разработка и исследование систем и устройств базируются на использовании классических положений теплотехники, гидравлики, тепломассообмена, теории подобия, методов численного моделирования с помощью программных комплексов, планирования многофакторного эксперимента и статистической обработки результатов. Экспериментальные исследования выполнены на разработанной автором установке и в промышленных условиях с использованием современного поверенного оборудования и приборов: газоанализаторы СЕАН П-4, назальный ольфактометр Nasal Ranger, термоанемометр Testo, датчики измерения температуры и влажности.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты моделирования воздушных потоков в помещении с избытками тепла и влаги при различных способах организации воздухообмена и времени года;

- уточненное критериальное уравнение расчета процесса теплоотдачи в рекуператоре по типу «труба в трубе»;

- расчетные и экспериментальные значения концентрации водного раствора аммиачной воды, образуемой в результате улавливания аммиака в тепло-массообменной установке;

- зависимости влияния биодеструкторов запахов на концентрацию вредных пахучих веществ в производственном помещении;
- рациональный способ организации приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией тепла, влаги и улавливания аммиака;
- алгоритм и программа инженерного расчета энергоэффективной системы вентиляции животноводческих помещений свиноводческого комплекса.

Степень достоверности научных положений, результатов и выводов диссертационной работы подтверждается использованием современных методов теоретических и экспериментальных исследований, высокоточного поверенного оборудования и приборов, удовлетворительной степенью сходимости аналитических результатов с экспериментальными данными и известными результатами, представленными в научной литературе.

Апробация результатов работы. Основные положения работы получили положительную оценку на научных конференциях: Высшая школа: научные исследования (Москва, 2020г.); XIV Международная научно-практическая конференция «Молодежь и научно-технический прогресс» (Губкин, 2021г.); Научно-практическая конференция «Энергетика в современном мире (Чита, 2021г.); International University Scientific Forum «Practice Oriented Science: UAE-RUSSIA-INDIA» (UAE, 2023г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 10 научных работ, из которых 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в издании, индексируемом в базе данных Scopus, получены патент на изобретение РФ и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Диссертация изложена на 181 странице машинописного текста, содержит 14 таблиц, 42 рисунка, библиографический список из 101 источника, 8 приложений.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИЯХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

1.1 Описание существующей экологической обстановки на территории и производственных помещениях свиноводческих комплексов

Вопросами в области микроклимата, теплоснабжения и энергосбережения в сельскохозяйственном производстве занимаются многие ведущие учёные: Найденко В.К., Медведский В.А., Свинарёв И.Ю., Миронов В.Н., Миронова Т.Ю., Краснова В.Л., Бородин И.Ф., Хазанов Е.Е., Гордеев В.В., Гордеева Т.И., Шведов В.В., Савельев В.С., Смирнов А.А., Козлов А.В., Коротченко И.С., Гриднева Т.Т., Игнаткин И.Ю. и др. На основании требований к микроклимату помещения формируются требования и к рекуперативным установкам, эффективность использования которых в инженерных системах особенно актуальна в зимний и переходные периоды года.

Общий анализ литературных источников показал, что разработка энергоэффективных способов создания требуемых параметров микроклимата в производственных помещениях животноводческих комплексов является весьма актуальной проблемой, которая недостаточно изучена и требует серьезных исследований особенно для регионов с развитым агропромышленным комплексом.

Количество свиней в России в хозяйствах всех категорий в 2019 г. составило 46,5 млн голов (рисунок 1.1). По отношению к 2018 г. поголовье животных увеличилось на 2,4%, к 2017 г. – на 2,9%, к 2016 г. – на 12,7%.

Лидером по количеству свиней в 2019 г. стала Белгородская область с 8,7 млн голов, что составляет 18,8% от общего поголовья по стране. Второе место занимает Курская область с 3,1 млн голов (6,7% от общего количества), а третье - Тамбовская область с 2,09 млн голов (4,5% от общего поголовья РФ).



Рисунок 1.1 – поголовье свиней по регионам в 2019 г.

В структуре популяции свиней на сельскохозяйственные предприятия приходится 83,4%, на домашние хозяйства - 14,6%, а на крестьянские хозяйства - 2,0%. За последние 5 лет поголовье свиней увеличилось на 27,7%, а за 10 лет - на 36,1%.

Отходы свиноводческих комплексов представляют опасность из-за содержания яиц гельминтов и патогенных микроорганизмов, способных вызывать заболевания [52, 92]. Отходы свиноводческих комплексов особенно вредны: одна свиноферма на 100 тыс. голов по загрязнению воды эквивалентна городу с населением 250 тыс. человек. Проблема утилизации навоза и отходов, особенно на свинофермах, остаётся актуальной.

Жидкий навоз, образующийся при безподстилочном содержании животных, содержит кал, мочу и технологические отходы воды. На свинофермах содержание воды в жидком навозе достигает 97%, что позволяет транспортировать его по

трубам и каналам. Наличие в помещении продуктов обмена веществ и бактериальная обсемененность воздуха зависят от численности поголовья и отрицательно влияют на здоровье животных [61, 20].

Существуют различные методы подготовки жидких отходов для сельскохозяйственного использования. Они основаны на добавлении коагулянтов для ускорения отстаивания и реагентов для ускорения сбраживания [71,72]. Навозостоки становятся безопасными и могут использоваться как удобрение после выдерживания их от 1 до 3 лет (для устранения запаха - более 2 лет).

Обнаружено высокое содержание азота и фосфора за счет выброса в воздух аммиака, летучих органических соединений и пыли, также происходит загрязнение водоёмов через почву и атмосферу.

Для свинокомплекса «Оскольский бекон-3» объём лагун для хранения стоков на срок около 6 месяцев должен составлять не менее 450 тыс. м³ в год (оптимально — 500 тыс. м³ в год).

Для начального этапа улучшения ситуации без значительных инвестиций в дорогие технологии - такие как разделение стоков и отдельная переработка осадков, покрытие лагун, биогазовые установки - рекомендуется использовать комплексную технологию биоремедиации. Этот метод сокращает сроки карантирования, обеззараживает стоки, повышает их полезность для удобрения полей, уменьшает запахи и снижает заболеваемость животных, повышая продуктивность на всех стадиях выращивания.

Под биоремедиацией экосистемы свинокомплексов понимается микробиологическое решение проблемы навозосток, основанное на использовании полезных микроорганизмов на всех этапах обработки стоков: образование, сбор, хранение в лагунах, вывоз на поля.

Основные проблемы свиноводства связаны с загрязнением окружающей среды, что приводит к нежелательным последствиям для биосферы [11, 18]:

- подкисление озер, рек и почвы из-за осаждения аммиака и оксида азота;
- загрязнение грунтовых вод и питьевой воды;

- ухудшение качества поверхностных вод из-за избытка азота, что вызывает цветение токсичных водорослей, снижение биоразнообразия флоры и фауны;
- загрязнения воздуха аммиаком, пылью, образования фотохимического озона, биоаэрозолей и т.д.;
- ухудшение здоровья человека из-за находящихся в воздухе взвешенных частиц и аэрозолей, образующихся под воздействием аммиака;
- истощение водных ресурсов (использование подземных вод);
- диффузное распространение тяжелых металлов, пестицидов и токсичных веществ;
- повреждение растений под воздействием аммиака и оксидов азота, что приводит к образованию озона;
- распространение патогенов, включая устойчивые к антибиотикам;
- остатки лекарственных препаратов в водах.

Вредные вещества и запахи, поступающие из производственных помещений и лагун свинокомплексов, создают неблагоприятную экологическую обстановку для окружающих территорий. Важной задачей является очистка вентиляционных выбросов от этих веществ [24, 54]. Для улавливания газообразных примесей применяются адсорбционные методы, основанные на поглощении загрязняющих веществ пористыми адсорбентами. Очистка может проводиться как в периодических, так и в непрерывных адсорберах. К преимуществам этого метода относится высокая степень очистки, но его недостатком является невозможность очистки запылённых газов.

Перспективными являются каталитические методы очистки, которые преобразуют токсичные компоненты в нетоксичные на поверхности твёрдых катализаторов. Эти методы подходят для газов, не содержащих пыли и катализаторных ядов, и используются для удаления оксидов азота, серы, углерода и органических примесей в реакторах различных конструкций. Однако эти методы часто требуют значительных энергозатрат, и разработка эффективных способов улавливания и утилизации вредных газов остаётся актуальной задачей для улучшения экологической ситуации на территориях свинокомплексов.

1.2 Общие сведения о свиноводческих комплексах

1.2.1 Классификация свиноводческих комплексов

Здания комплексов для свиноводства состоят из основных и вспомогательных помещений. Основные помещения предназначены для содержания свиней, а вспомогательные включают административно-бытовые, хозяйственные и складские зоны, весовые помещения, погрузочные рампы, кормоцеха, пункты для искусственного осеменения, санитарные объекты и др.

Свинокомплексы классифицируются по своему назначению (племенные и товарные) и способу содержания животных (с выгулом и без него) [59, 98]. Также свинокомплексы различают по специализации, планировке, размеру и организации воздухообмена (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Классификация свиноводческих комплексов

В племенных комплексах проводится работа по улучшению породных характеристик свиней и выращиванию молодняка, предназначенного для товарных комплексов. На товарных комплексах и фермах сосредоточено производство мяса.

Репродукторные комплексы занимаются выращиванием поросят для откорма, а также ремонтного молодняка, предназначенного для воспроизводства стада. На комплексах, ориентированных на откорм, свиней выращивают для производства мяса. Откорм свиней проводится в трех направлениях: сальный, мясо-сальный и беконный. Смешанные комплексы выполняют сразу несколько функций - выращивание поросят, ремонтного молодняка для воспроизводства стада и откармливание свиней.

Наиболее эффективна безвыгульная система содержания, которая активно внедряется на новых комплексах. Тем не менее, существует много комплексов и ферм, использующих выгульную систему, которая предусматривает специальные площадки для выгула животных вдоль стен зданий. В свободно-выгульной системе кормление происходит в помещениях, а выгульные дворы используются для прогулок. Дворы разделяют на секции, чтобы у каждой группы свиней был доступ к выгульной площадке. Кормушки располагают с противоположной стороны, обеспечивая удобный проезд для загрузки кормов. В плохую погоду кормление осуществляется внутри помещений [49].

Выгульная система имеет такие преимущества, как низкие начальные затраты и меньшая плотность размещения животных. Однако среди недостатков - высокие трудозатраты на единицу продукции, сложность механизации процессов, необходимость больших площадей и отсутствие возможности контроля параметров микроклимата в помещениях содержания животных.

Безвыгульная система позволяет регулировать параметры воздушной среды, автоматизировать процессы, снижает трудозатраты и улучшает условия труда, требует меньших площадей. Но её недостатками являются высокие капитальные вложения, риск распространения заболеваний и сложности в обращении с навозом.

Планировка свиноводческих комплексов включает разделение территории на три основные зоны: производственную, кормовую и подсобно-вспомогательную. На крупных комплексах навозохранилища располагаются за пределами территории на расстоянии не менее 300 м. Зоны соединены сетью проездов, упрощающих технологические операции и повышающих экономичность производства.

Комплексы могут иметь павильонную, частично заблокированную или полностью заблокированную застройку (моноблок). Небольшие фермы используют в основном свободно-выгульное и станково-выгульное содержание животных, застраиваются отдельно стоящими зданиями, а корма готовятся в подсобно-вспомогательной зоне. Корма доставляют в свинарники транспортом, а затем в станки — вручную.

В крупных комплексах с частично заблокированной застройкой воспроизводство, доращивание и откорм осуществляются на основе поточной технологии, где перемещение животных между специализированными помещениями происходит по этапам производственного цикла.

По размеру свиноводческие предприятия делятся на свинофермы (до 12 тыс. голов для выращивания и откорма в год) и свинокомплексы на 24, 54 и 108 тыс. голов. Комплексы отличаются от ферм не только масштабом, но и уровнем механизации [79,80].

Свинофермы до 12 тыс. голов обычно являются внутривладельческими, комплексы до 24 тыс. - межхозяйственные и внутривладельческие, а свинокомплексы на 54 тыс. голов и больше - межхозяйственными. В товарном свиноводстве наиболее целесообразны комплексы на 12-24 тыс. голов с полным циклом производства.

В племенном свиноводстве выделяют четыре типа хозяйств: племенные заводы, совхозы, межхозяйственные фермы и племенные фермы комплексов.

Требования к воздухообмену в свиноводческих комплексах определяются на основе данных строительной климатологии. Для расчета систем вентиляции используются параметры наружного воздуха по категории Б. При естественной

вентиляции расчетная температура наружного воздуха для помещений содержания свиней составляет 5°С.

Параметры микроклимата зависят от группы животных:

- Для взрослых свиней и свиноматок без поросят температура воздуха в помещении находится в диапазоне 13-20°С (расчетная - 16°С).

- Для глубокосупоросных свиноматок и свиноматок с поросятами температура воздуха составляет 18-22°С (расчетная - 20°С).

- Для поросят-отъемышей температура воздуха в диапазоне 22-28°С (расчетная - 24°С).

Оптимальная относительная влажность составляет 60-80 % (допустимый максимум - 85 %), так как высокая влажность при низкой температуре негативно влияет на здоровье животных [85].

Также важно учитывать подвижность воздуха, уровень вредных газов, запыленность и микробную обсемененность. Для откормочных свиней рекомендованы: температура 16-20°С (минимум 14°С), влажность 40-75 %, скорость воздуха 0,3-0,7 м/с, содержание аммиака до 0,02 мг/л, углекислого газа - 0,2 %, сероводорода- 0,015 мг/л и до 500 тыс. микробов на 1 м³.

Системы вентиляции для помещений разной категории взрывопожароопасности должны быть обособленными, за исключением допустимых объединений помещений в группы, если они расположены в пределах одного противопожарного отсека (п. 6.6 – 6.8 [87]). В помещениях с постоянным присутствием животных, если тепловыделений недостаточно для компенсации теплопотерь, рекомендуется воздушное отопление, совмещенное с приточной вентиляцией.

С целью экономии электроэнергии и тепловых ресурсов рекомендуется применять системы вентиляции с рекуперацией тепла и тепловыми насосами для утилизации низкотемпературного тепла [62]. Воздухообмен для содержания животных рассчитывается на основе минимального объема воздуха на голову или на единицу живого веса, как указано в санитарных нормах [14, 15]. В соответствии с РД-АПК 1.10.02.04-12 приток воздуха должен составлять не менее

30 м³/ч на 1 ц живой массы свиньи в холодный период, 45 м³/ч в переходный период и 60 м³/ч в теплый период года [79, 86].

1.2.2 Способы организации воздухообмена в производственных цехах свиноводческих комплексов

Существует два типа систем вентиляции: естественная и механическая (рисунок 1.3).

Естественная вентиляция обеспечивает приток и удаление воздуха без вентиляторов, что делает её традиционным выбором в свиноводстве. Она работает за счет естественного движения воздуха, обусловленного разницей температур: теплый воздух поднимается вверх, а холодный опускается вниз.

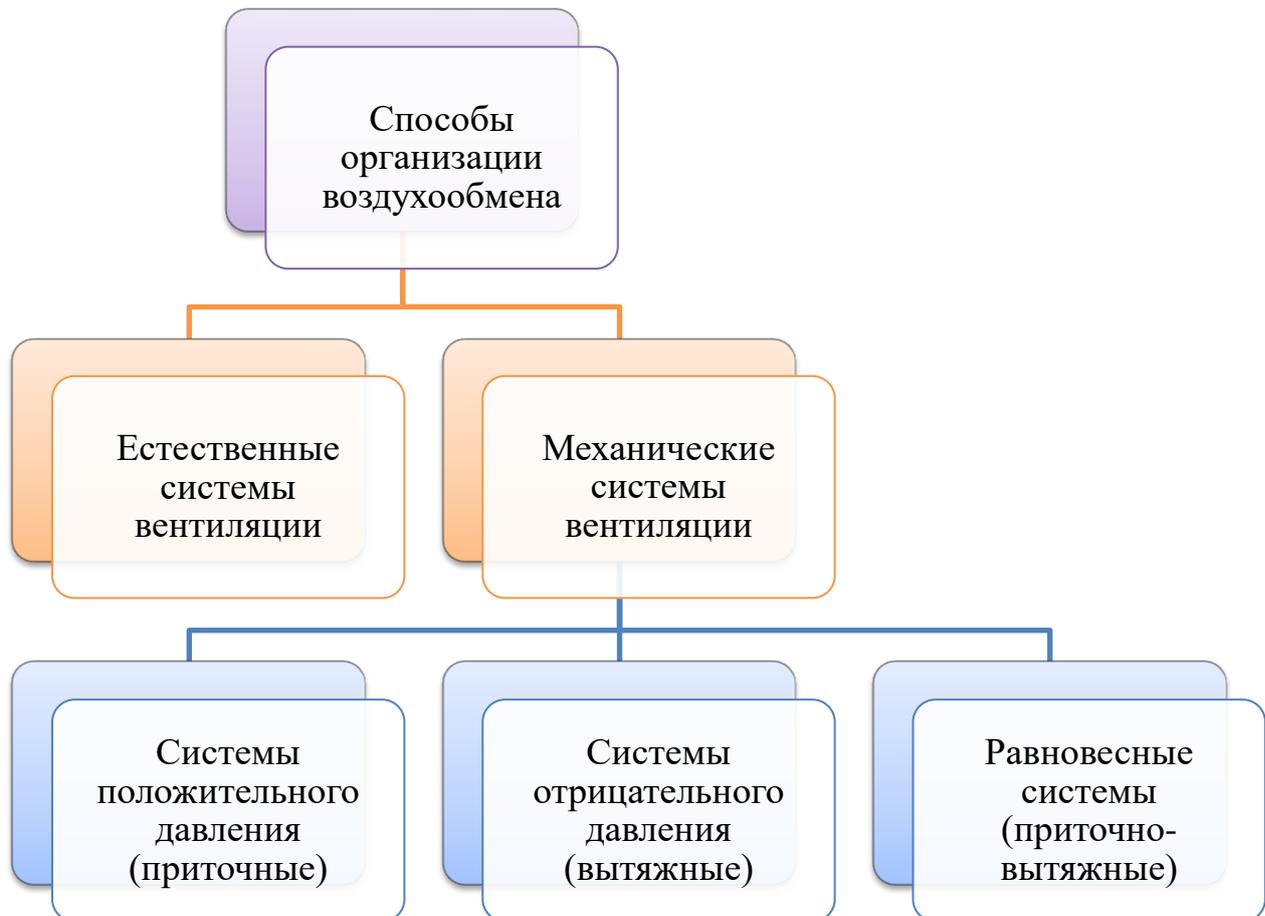


Рисунок 1.3 – Способы организации воздухообмена

Для эффективной работы естественной вентиляции необходимы широкие вентиляционные отверстия. Однако такая система сильно зависит от климатических условий, направления и силы ветра, рельефа местности, а также от близости других зданий, которые могут препятствовать свободному движению воздуха. Контроль микроклимата в свиноматнике с естественной вентиляцией является сложной задачей [96, 100].

Наиболее распространены механические системы вентиляции, которые можно разделить на три типа (рисунок 1.3). Эти системы различаются способом подачи свежего и удаления загрязненного воздуха [19].

В системах положительного давления свежий воздух нагнетается в помещения с помощью вентиляторов, а загрязненный воздух удаляется через воздушные клапаны без механизации. Основным недостатком этой системы является то, что при значительном превышении притока над оттоком степень бактериальной обсемененности не уменьшается, а может даже увеличиваться. В настоящее время такие системы практически не используются при строительстве новых свиноматочных комплексов.

В системах отрицательного давления загрязненный воздух удаляется с помощью мощных вытяжных вентиляторов, а приток свежего воздуха осуществляется через клапаны, расположенные в потолке или стенах. Это происходит благодаря разрежению воздуха, создаваемому вытяжными вентиляторами [94].

Туннельные системы отрицательного давления обычно работают в двух режимах — летнем и зимнем. Такие системы вентиляции требуют высокой герметичности здания, но являются одними из самых простых и недорогих в реализации [50]. Кроме того, использование систем отрицательного давления позволяет устанавливать системы охлаждения воздуха, что особенно важно для южных регионов Российской Федерации.

Летний тип туннельной системы вентиляции с охлаждением работает следующим образом: теплый воздух поступает в производственные помещения через увлажненные перфорированные бумажные «подушки». При соприкосновении с поверхностью этих «подушек», обладающих большой площадью, воздух увлажняется и охлаждается. Эффективность охлаждения зависит от относительной влажности внешнего воздуха: чем она ниже, тем лучше работает система [1, 6].

При проектировании такой системы важно учитывать длину здания, поскольку воздух нагревается по мере его прохождения через помещение. Температура на «выходе» из корпуса не должна превышать допустимые значения. Максимальная длина корпуса, при ширине около 18 м, для данной системы составляет около 90 м, чтобы не превышать нормативы по скорости движения воздуха.

Эти варианты вентиляции подходят для всех корпусов, где не предусмотрено боксовое содержание животных. Для помещений, разбитых на изолированные технологические секции, используется туннельная поперечная система [10].

Оптимальным вариантом является совмещение этой системы с естественной вентиляцией через открывающиеся стеновые проемы [8, 65]. В дневное время, когда температура воздуха достигает максимума и относительная влажность минимума, занавесь находится в закрытом положении, работают все вытяжные вентиляторы и система охлаждения.

В вечернее и ночное время, когда температура снижается и влажность повышается, эффективность охлаждения уменьшается. В этот период занавесь может быть открыта, что позволяет отключить механическую систему вентиляции и перейти на естественную, что может значительно сократить расходы на электричество (до 50%) в летний период.

В холодное время года проникновение холодного воздуха непосредственно в помещения, где содержатся животные, крайне нежелательно для всех возрастных групп. В туннельных системах вентиляции холодный воздух сначала

поступает на чердак, где он смешивается с более теплым чердачным воздухом. Далее, в зависимости от наличия технологического коридора в здании, воздух через специальные потолочные клапаны поступает либо в производственную зону, либо в коридор, и только затем – в основное помещение.

Это позволяет предварительно смешивать и подогревать воздух перед его подачей в рабочую зону. В зимний период работают только специально установленные для этого вытяжные вентиляторы с несколькими режимами, управляемыми электронной системой. Переход между летним и зимним режимами вентиляции обычно осуществляется автоматически. Воздушные клапаны закрываются вручную, система охлаждения активируется с наступлением теплого сезона без увлажнения, а затем, с повышением температуры, включаются насосы, и подушки охлаждения увлажняются.

Помимо туннельной вентиляции применяются и другие системы отрицательного давления, которые широко используются европейскими компаниями как для реконструкции свиноводческих помещений, так и при строительстве новых. В этих системах вытяжка воздуха осуществляется с помощью шахтных вентиляторов на крыше, а приток – через регулируемые клапаны на стенах. Механическое управление клапанами и вытяжными шахтами осуществляется с помощью моторов, тросов и кабелей, что делает эту систему относительно доступной и простой в эксплуатации.

Важно учитывать, что если свежий воздух поступает в зону нахождения животных, а загрязненный удаляется только из верхней зоны, это ухудшает газовый состав и увеличивает бактериальное загрязнение воздуха, что повышает заболеваемость животных в 2–3 раза. Неправильная работа системы приводит к тому, что холодный и загрязненный аммиаком воздух накапливается у пола, в зоне дыхания животных, в то время как теплый, более чистый воздух находится под крышей и именно его удаляет вентиляция. Для улучшения качества воздуха и уменьшения бактериальной нагрузки важно, чтобы система удаляла загрязненный воздух из нижней зоны не менее 60% от общего воздухообмена [82].

При корректной настройке приточных клапанов это возможно. В холодный период года воздух с улицы поднимается к потолку и смешивается с теплым воздухом помещения перед тем, как достичь зоны содержания животных, обеспечивая вертикально-круговую рециркуляцию и замену воздуха. Если система работает неправильно, загрязненный воздух оседает у пола, а вентиляция удаляет теплый воздух из-под крыши.

Также оптимально использование приточно-вытяжных систем вентиляции для свиноводческих комплексов, поскольку они обеспечивают подачу и удаление воздуха с помощью вентиляторов, исключая сквозняки и равномерно распределяя воздух в соответствии с ветеринарными нормами. Чтобы устранить проблему удаления теплого воздуха из-под крыши, вытяжные шахты удлиняют до 1,5-2,0 м до уровня пола [82].

1.3 Анализ вредных выделений в помещениях животноводческих комплексов и способы их удаления

Воздухообмен в животноводческих комплексах тесно связан с состоянием окружающей воздушной среды. При организации воздухообмена происходит выброс в атмосферу вредных веществ, присутствующих в воздухе комплексов, таких как аммиак и углекислый газ [7, 48]. Концентрация животных на ограниченной территории увеличивает риск загрязнения окружающей среды и создает трудности, связанные с очисткой выбрасываемого воздуха [2].

Согласно исследованиям белорусских ученых, выбросы свиноводческих комплексов, содержащие аммиак, пыль и запахи, могут распространяться на расстояние до 5 км. Летом, при отсутствии ветра, повышенное бактериальное загрязнение воздуха фиксируется до 500 м от комплекса, причем из свинарников выделяется 136 различных газов, наиболее токсичными из которых являются сероводород, аммиак и углекислый газ.

Также значительный вред наносят стоки с высокой концентрацией органических и минеральных веществ, значительно превышающей уровень

бытовых и промышленных отходов. В стоках промышленных комплексов может содержаться до 10 тыс. мг/л сухого вещества. Малые фермы также загрязняют окружающую среду, так как многие из них используют устаревшие методы утилизации навоза и стоков. Например, использование стоков для удобрения пастбищ способствует накоплению меди, что делает небезопасным содержание животных на таких землях, как это произошло в Голландии и Дании, где плотность свиней на сельхозугодиях самая высокая в Европе – 678 и 373 голов/км² соответственно [67].

В некоторых районах Англии до 30% навоза смывается в реки, в результате чего концентрация нитратов в воде вдвое превышает допустимый уровень – 22 мг/л. Нитраты могут превращаться в нитриты в мышечной ткани людей и животных, что способствует накоплению канцерогенов.

Методы очистки вентиляционного воздуха зависят от условий, в которых находятся загрязняющие вещества (концентрация, влажность, температура, давление и наличие пылевых примесей). Рассмотрим основные методы, используемые в современных промышленных системах очистки [38, 58].

Фотокаталитический метод. Этот метод, основанный на воздействии ультрафиолета ($\lambda \approx 300$ нм) на твердые титаноокисные катализаторы (TiO_2), используется для очистки от легких химических соединений при небольших объемах загрязнений, окисляя их до CO_2 , воды и других безопасных веществ.

Микробиологический метод. Основан на использовании биологических фильтров с бактериями, использующими аммиак как метаболит. Они представляют собой высоко настраиваемые системы, требующие специфических условий, которые могут быть сложно реализуемыми [3, 9].

Адсорбционный метод. В случае значительных объемов загрязнений и отсутствия пылевых примесей наиболее эффективен метод сухой каталитической адсорбции [57, 63]. Этот метод применяется в аммиачных, полимерных и агрохимических производствах, используя такие адсорбенты, как активированный уголь, цеолиты и силикагель. Способность захвата загрязнений объясняется

пористостью адсорбентов, которая подбирается в зависимости от размера молекул загрязнителей [12].

Мокрая абсорбция в скрубберах и абсорбционных колоннах. Один из эффективных методов очистки воздуха от аммиака, особенно в комплексе с аэрозолями и микромеханическими загрязнителями, – это мокрая физическая (водяная) и химическая абсорбция (реагентная хемосорбция).

В большинстве случаев результативное улавливание аммиака достигается мокросорбционным методом, в котором в качестве абсорбента скруббера или абсорбера выступает водный раствор лимонной кислоты [33].

Преимуществом метода является получение побочных продуктов, таких как цитрат аммония, сульфат аммония и гидрофосфат аммония, которые используются в сельском хозяйстве и промышленности в качестве пищевых добавок или удобрений.

В таблице 1.1 представлены преимущества и недостатки различных методов очистки вентиляционного воздуха.

Таблица 1.1 – Сравнительная характеристика способов очистки вентиляционного воздуха

Технология	Преимущества и недостатки методов очистки вентиляционного воздуха
Микробиология	Экспериментальный подход, не способный обеспечить надлежащих показателей промышленной газоочистки
Фотокатализ	Высокий КПД в части захвата множества органических соединений и болезнетворных организмов. Неспособность к эффективной обработке больших концентраций и объемов загрязнителей
Сухая адсорбция	КПД близок к 100% в тонкоселективном улавливании "чистых" газополлютантов органической и неорганической природы. В случае высокой влажности среды рекомендуется установка предваряющего осушения
Мокрая абсорбция	Гибкая, универсальная и высокопроизводительная технология, позволяющая осуществлять не только захват нежелательных соединений, но и их трансформацию в ценные продукты. Способность к одновременному поглощению газовых, аэрозольных и пылевых конденсатов. Возможность работы в высокотемпературном режиме. Простота и неприхотливость устройств

Преимущества сорбционных аппаратов мокрого действия:

- Высокая эффективность улавливания широкого спектра загрязнителей, включая пары аммиака, сероводорода, оксид азота, кислот, щелочей и других веществ.
- Широкий выбор моделей, способных обрабатывать от десятков до тысяч кубометров воздуха в час при компактности агрегатов.
- Способность обрабатывать высокотемпературные и сильно загрязненные среды с температурой до 900 °С.
- Низкое гидравлическое сопротивление и легкость интеграции в производственные процессы.

Анализ рассмотренных способов показал, что наиболее перспективным для свиноводческих комплексов является способ мокрой абсорбции.

1.4 Способы переработки и утилизации отходов животноводческих предприятий

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду, связанного с выбросами и отходами от животноводческих комплексов, применяются разнообразные методы утилизации и обеззараживания отходов, которые зависят от экономической целесообразности и природных условий региона [13].

Основные способы утилизации навоза и отходов переработанного сырья:

1. Вывоз навоза и стоков на поля в качестве удобрения был широко распространен в условиях экстенсивного сельского хозяйства, когда содержание животных носило маломасштабный характер, и концентрация скота на гектар пахотных земель была низкой. В таких условиях навоз, либо складированный возле ферм, либо сразу вывозимый на поля, постепенно разлагался и превращался в перегной, обогащая почвы.

Однако в современных условиях этот метод имеет значительные недостатки – высокие затраты на транспортировку, риски загрязнения почв и вод, накопление вредных элементов в растениях. В связи с этим данный метод

утилизации менее эффективен и потенциально небезопасен, особенно в условиях крупных животноводческих комплексов с высокой концентрацией поголовья.

2. Компостирование – позволяет получить удобрение (биогумус), однако часть питательных веществ (30-40 %) улетучивается в газообразном виде.

3. Переработка навоза и помета на корма – это способ повторного использования питательных веществ, содержащихся в отходах животноводства. Около 40% кормовых питательных веществ, поступающих с кормом, не успевают усваиваться организмом животных и выходят с пометом. Это привело к идее переработки навоза и помета для повторного применения в кормлении.

Для повышения усвояемости кормов и снижения выбросов фосфора и азота разработаны различные методы, позволяющие значительно уменьшить загрязнение среды продуктами животноводства, одновременно повышая эффективность кормления [27].

4. Биоэнергетические способы утилизации отходов позволяют решить ряд задач, включая нейтрализацию опасных биогазов, производство экологически чистых удобрений, соды и «сухого» льда, а также получение метана, используемого в мини-ТЭЦ, и газообразного топлива для транспортной техники.

5. Инновационные технологии утилизации отходов развиваются для создания экологически чистого топлива [68]. Например, в США в некоторых штатах птичий помет запрещено использовать в качестве удобрения, и его перерабатывают в активированный уголь - адсорбент для очистки воды. Технология термической деполимеризации (TDP) позволяет перерабатывать не только навоз и помет, но и остатки кормов, стоки, подстилку, а также трупы павших животных. Эта технология превращает отходы в твердые, жидкие и газообразные виды топлива, удобрения и химические вещества, что значительно расширяет возможности утилизации.

6. Вермикультура – утилизация отходов с помощью червей, вырабатывающих кормовой белок и повышающих плодородие почвы.

7. Рыбоводно-биологические пруды. Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства разработал каскадную систему

рыбоводно-биологических прудов, включающую четыре этапа очистки, которая обеспечивает получение очищенной воды для технических нужд и свежей рыбы. Сначала стоки попадают в пруды-накопители, где осаждаются твердые фракции, используемые как удобрения, а жидкие перерабатываются зоопланктоном. На следующих стадиях водоросли насыщают воду кислородом, а зоопланктон становится пищей для мальков, завершая процесс [41].

Также существует **метод кавитационной обработки** стоков, который ускоряет подготовку жидких отходов животноводства для последующего использования их в качестве удобрений. Этот метод основывается на искусственной кавитации в вакуум-эжекционном аппарате, эффективно уничтожающей яйца гельминтов при определенных параметрах потока [56].

Таким образом, экологические вопросы животноводства можно решать различными методами. Выбор способов очистки и утилизации отходов зависит от региональных особенностей, уровня развития аграрного сектора и экономической целесообразности, принимая во внимание экологическую эффективность и специфику региона.

1.5 Методологические основы, цель и задачи исследования

На свиноводческом комплексе «Оскольский бекон-3» происходит удаление и выброс в атмосферу значительных объемов вытяжного воздуха, загрязненного аммиаком и сероводородом, что может создавать неблагоприятные условия как для проживающих людей в окрестных населенных пунктах, так и для выращиваемых животных, а также оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

Целью работы является совершенствование системы создания требуемых параметров микроклимата в помещениях свиноводческих комплексов за счет организации приточно-вытяжной вентиляции и использования технологии биоремедиации для охраны воздушной среды.

Методологические основы исследования для достижения поставленной цели заключаются:

- в исследовании тепло-массообменных процессов в помещениях свиноводческих комплексов различного назначения;
- анализе уравнений движения воздушных потоков в закрытых помещениях;
- математическом моделировании тепло-массообменных процессов в производственных помещениях свиноводческих комплексов;
- выборе программы и математическом моделировании системы вентиляции в помещениях с различной системой организации воздухообмена;
- разработке модели рекуператора и описании тепло-массообменных процессов;
- теоретических исследованиях процессов конденсации паров воды в теплообменном устройстве при различных теплофизических параметрах среды и концентрации вредных примесей.

Проведенные исследования необходимы для решения **следующих задач:**

- предложить рациональный способ организации воздухообмена на основании анализа моделей распределения воздушных потоков;
- разработать приточно-вытяжную схему вентиляции с элементами утилизации тепла и вредных выбросов;
- изготовить тепло-массообменную установку для утилизации тепла, влаги и улавливания газообразного аммиака, провести исследования при различных температурах приточного и вытяжного воздуха;
- разработать рекомендации для реального тепло и массообменного устройства в приточно-вытяжной системе вентиляции в корпусе содержания животных;
- провести исследования биодобавок, разработать технологию биоремедиации для снижения концентрации вредных веществ в производственных помещениях свиноводческого комплекса.

1.6 Выводы

1. Проведен анализ экологической обстановки на территориях и в помещениях свиноводческих комплексов. Сложившаяся существующая обстановка на свинокомплексе «Оскольский бекон-3» требует соответствующих решений.

Для решения проблемной ситуации необходимо снизить концентрацию пахучих вредных веществ в корпусах содержания животных. Для достижения этой цели предлагается использование комплексной технологии биоремедиации с целью дегазации выбросов и сокращения сроков карантинирования, обеззараживания и повышения полезности утилизации переработанных стоков.

2. Рассмотрены различные способы организации воздухообмена на животноводческих комплексах. Перечислены их достоинства и недостатки. Одним из главных недостатков большинства систем является удаление загрязненного воздуха только из верхней зоны, что приводит к ухудшению газового состава и увеличению бактериальной загрязненности воздуха в зоне нахождения животных в несколько раз. Удаление выделяющихся вредных газов тяжелее воздуха обычно производится из нижней зоны помещения, так как выделяющиеся в помещении вредные вещества (аммиак, сероводород и т.д.) стратифицируются в зависимости от их плотностей.

3. На основе анализа существующих систем вентиляции возникает необходимость в обеспечении требуемых параметров микроклимата в помещениях свинокомплекса путем организации приточно-вытяжной системы вентиляции с частичным удалением вытяжного воздуха из нижней зоны.

4. Для разрешения проблемной обстановки необходимы мероприятия по очистке вытяжного воздуха от вредных газов, количество которых зависит от назначения помещений, от возраста и числа голов выращиваемых животных.

5. Поставлена цель и задачи научной работы. Определены методологические основы исследования.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ И ТЕПЛО-МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

2.1 Принципы математического моделирования гидроаэродинамики и тепло-массообменных процессов в производственных помещениях

Гидроаэродинамика изучает движение жидкостей и газов, основываясь на механике сред с малыми связями между молекулами, что позволяет им свободно перемещаться в любом направлении.

В жидкостях и газах действуют различные силы, которые делятся на объемные (массовые) и поверхностные, в зависимости от их приложения к выделенному объему [90].

Тепло- и массообмен в газах описывается тремя основными уравнениями: неразрывности, Навье-Стокса и энергии [42].

Расчетные области и граничные условия для тепло- и массообменных процессов задаются на основе макроскопических характеристик. Течение сжимаемой вязкой жидкости описывается уравнениями Навье-Стокса и уравнением неразрывности, которые имеют следующий вид:

$$\rho \frac{d\bar{V}}{dt} = \rho \bar{F} - \text{grad } p - \frac{2}{3} \mu \text{grad div } \bar{V} + 2 \text{Div}(\mu \dot{S}) , \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \bar{V}) = 0 . \quad (2.2)$$

Уравнения записаны для физических переменных - составляющих скорости \bar{V} (в виде тензора скорости сдвига \dot{S}), и давления p ; свойства жидкости характеризуются плотностью ρ и динамическим коэффициентом вязкости μ . Эти уравнения основаны на следующих физических законах: уравнение Навье-Стокса является проекцией векторного уравнения количества движения $F = ma$ (второго закона Ньютона), причем вязкие силы связаны со скоростью деформаций линейным ньютоновым законом для касательных напряжений, а уравнение

неразрывности выражает закон сохранения массы. Описанные уравнения записаны в эйлеровой системе координат, т.е. в неподвижной системе относительно движения жидкости. Уравнение неразрывности применяет закон сохранения массы к жидкости, протекающей через поверхность, ограничивающую малый объем.

Для разработки эффективных систем вентиляции и их проверки в условиях, отличающихся от эксплуатационных, удобно использовать методы моделирования. Например, здание на рисунке 2.1 можно рассматривать как аналог животноводческого помещения, где организован воздухообмен благодаря воздействию тепла, влаги, ветра и механической вентиляции, создавая определённый температурный режим внутреннего воздуха [90].

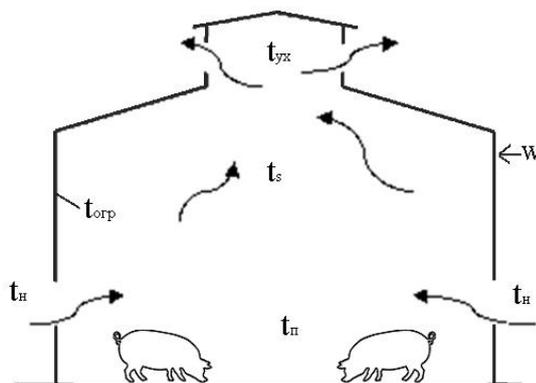


Рисунок 2.1 – Схема здания в поперечном разрезе

Для изучения процесса воздухообмена и температурного режима на модели здания необходимо учитывать, что воздух в данном случае является рабочей средой. Для этого важно располагать зависимостями, которые позволяют рассчитать модель, знать её размеры, скорость ветра и мощность источников тепла и влаги. Также требуется понимание формул, по которым пересчитываются замеры скоростей, температур и влажностей, полученные на модели, в реальные величины [29].

Допустим, что модель выполнена в определённом масштабе, и явления в ней подобны тем, что происходят в реальном здании. Согласно теории подобия, должна соблюдаться масштабная пропорциональность между физическими

величинами, характеризующими процессы в здании и его модели. Каждая величина имеет свой масштаб, что используется при моделировании.

Для моделирования воздухообмена масштаб скорости определяется как отношение скорости воздуха в проёмах модели к скорости воздуха в проёмах здания:

$$C_v = v'' / v' = \mu'' \sqrt{\frac{2}{\rho''} \Delta p''} / \mu' \sqrt{\frac{2}{\rho'} \Delta p'} = c_{\mu} \sqrt{c_{\Delta p}}, \quad (2.3)$$

где v – средняя скорость в проеме, м/с; μ – коэффициент расхода; Δp – разность давлений до и после проема, Па; ρ – плотность воздуха, кг/м³. Величины с одним штрихом относятся к зданию, а с двумя штрихами – к его модели [76].

Масштаб разности давлений устанавливается на основе понятия избыточного давления воздуха, соответственно, на внешней поверхности ограждения модели и здания:

$$C_{\Delta p} = \frac{k_i'' \frac{\rho'' W''^2}{2}}{k_i' \frac{\rho' W'^2}{2}} = c_{ki} c_v^2, \quad (2.4)$$

где k_i – аэродинамический коэффициент; W – скорость ветра, м/с.

Так как здания и их модели считаются плохо обтекаемыми телами, а турбулизация потоков воздуха обычно почти одинакова, то их аэродинамические коэффициенты равны ($k_i' = k_i''$). Подставляя в уравнение (2.3) масштаб разности давлений и принимая во внимание, что $C_{ki} = 1$, получаем:

$$C_{\mu} = 1. \quad (2.5)$$

Известно, что коэффициент расхода рассчитывается с учетом числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{l \cdot v}{\nu}, \quad (2.6)$$

где l – характерный размер, м; ν – кинематическая вязкость, м²/с. При этом, когда число Re увеличивается, то вначале возрастает и коэффициент расхода, а затем, начиная с некоторого значения $Re=2400$, коэффициент расхода μ остается неизменным.

Для проемов здания число Рейнольдса всегда больше указанной величины ($Re' > 2400$), поэтому для соблюдения требования, указанного в формуле (2.5), необходимо и для проемов модели здания исходить из условия, что $Re'' > 2400$.

Масштаб разности давлений может быть определен и из понятия гравитационного давления с учётом геометрического масштаба:

$$C_{\Delta p} = \frac{\Delta \rho'' gh''}{\Delta \rho' gh'} = C_{\Delta p} C_l, \quad (2.7)$$

где h – высота рассматриваемого столба воздуха, м; $\Delta \rho$ – разность плотностей воздуха в столбе и вне его, кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; $C_l = h''/h'$ – геометрический масштаб модели.

Подставим найденный масштаб разности давлений в уравнение (2.3), также учитывая, что $C_\mu = 1$. Тогда, масштаб скорости будет определяться по формуле:

$$C_o = \sqrt{C_l C_{\Delta p}}. \quad (2.8)$$

После соответствующих преобразований с учетом масштаба разности плотностей в уравнение (2.8), получаем масштаб скорости:

$$C_o = \sqrt{C_l C_{\Delta t}}. \quad (2.9)$$

Масштаб массового расхода:

$$G_G = \frac{G''}{G'} = \frac{\rho'' F'' v''}{\rho' F' v'} = C_l^2 C_v, \quad (2.10)$$

где G – массовый расход, кг/с ; F – площадь открытого проема, м^2 .

Моделирование масштаба тепловыделений учитывает удельную теплоемкость c и температуру t'_{yx} удаляемого воздуха из здания или его модели:

$$C_Q = \frac{Q''}{Q'} = \frac{c G'' (t''_{yx} - t''_n)}{c G' (t'_{yx} - t'_n)}. \quad (2.11)$$

Масштаб теплотерь через ограждения:

$$C_Q = \frac{k'' S'' (t''_{оep} - t''_n)}{k' S' (t'_{оep} - t'_n)} = C_k C_l^2 C_{\Delta t}, \quad (2.12)$$

где k – неполный коэффициент теплопередачи; S – площадь поверхности ограждения здания или его модели, м^2 .

Входящий в равенство (2.12) неполный коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{1}{\sum \delta / \lambda + 1 / \alpha_o}, \quad (2.13)$$

где δ - толщина слоя ограждения, м; λ - коэффициент теплопроводности этого слоя, Вт/м·°С; α_o - коэффициент теплопередачи от ограждения к наружному воздуху или рабочей среде, Вт/м²·°С; при этом в целях упрощения моделирования будем считать, что $\alpha_o = \alpha_o''$.

При необходимости изучения вентиляционных процессов на модели приходится геометрический масштаб считать произвольным. Экспериментальная проверка такого рода приближенного моделирования устанавливает, что получаемая при этом ошибка не превышает 5%, что вполне допустимо.

Моделирование влаговыделений. Масштаб количества влаги:

$$C_D = \frac{D''}{D'} = \frac{G''(d_{yx}'' - d_n'')}{G'(d_{yx}' - d_n')} = C_G C_{\Delta d}, \quad (2.14)$$

где D – расход влаги, г/с; d_n и d_{yx} – влагосодержание наружного воздуха и воздуха, уходящего из здания или его модели, г/м³.

Масштаб разности влагосодержания в данном уравнении устанавливается на основе применения понятия углового масштаба, используемого при графическом построении вентиляционных процессов на I-d диаграмме.

При подобии процессов тепло- и влагообмена в здании и его модели угловые масштабы должны быть одинаковыми

$$\Delta i' / \Delta d' = \Delta i'' / \Delta d'' \quad (2.15)$$

Практические приемы моделирования. Метод расчета модели и обработки опытных данных состоит в следующем:

1. Задают геометрический масштаб модели C_l и масштаб разности температур $C_{\Delta t}$.

2. Вычисляют масштабы: $C_v = \sqrt{C_l C_{\Delta t}}$; $C_G = C_l^2 C_v$; $C_Q = C_G C_{\Delta t}$; $C_\varepsilon = \sqrt{C_v}$; $C_k = C_v$.

3. Вычисляют для модели скорость ветра и скорости воздуха на выходе из приточных вентиляционных систем и на входе в вытяжные устройства, мощности источников тепла, степень черноты и неполный коэффициент теплопередачи.

4. Определяют термическое сопротивление ограждения модели.

5. Задают определенный материал ограждения модели и, зная λ'' , находят δ'' .
6. После запуска модели проверяют соблюдение условия $Re'' > 2400$.
7. Проводят замеры скоростей и температур.
8. Замеренные в модели скорости и температуры пересчитывают на натурные данные.

При наличии влаговывделений определяют мощности источников влаговывделений в модели. Влагосодержание, замеренное в модели, на натурное значение пересчитывается по формуле: $d' = d'_н + (d'' - d''_н) / C_{\Delta d}$, где $C_{\Delta d} = C_{\Delta t}$.

Представленные зависимости использованы при разработке модельной тепло-массообменной установки.

2.2 Выбор программы и моделирование динамики воздушных потоков в производственных помещениях с различной системой организации воздухообмена

Исследование динамики воздушных потоков рекомендуется проводить на моделях с применением современных комплексов вычислительной гидродинамики, таких как SolidWorks Flow Simulation, ANSYS, Логос, TRIANA.

В данной работе использован программный продукт SolidWorks Flow Simulation, позволяющий выполнять аэрогидродинамические и тепловые расчеты для широкого круга пользователей [16]. Этот программный комплекс применяется в различных отраслях промышленности, включая вентиляцию, теплообмен, трубопроводную арматуру и радиоэлектронику.

На сегодняшний день SolidWorks FlowSimulation является одной из немногих программ, позволяющих решать задачи вычислительной гидротермодинамики в системах автоматизированного проектирования.

При создании сложной техники часто требуется проведение экспериментальных аэро-, гидро- и термодинамических исследований, что влечет за собой большие затраты времени и финансов. Более эффективным методом является использование параметрического численного моделирования, которое

точно воспроизводит физические процессы. SolidWorks FlowSimulation предоставляет возможность выполнять такие расчеты в оптимальные сроки, основываясь на проверенных математических моделях.

Для расчета изменения физических параметров во времени и пространстве необходимо выполнить математическое моделирование. Физические процессы наиболее точно описываются с помощью систем дифференциальных и интегральных уравнений, дополненных эмпирическими константами и зависимостями, а также граничными и начальными условиями, которые связывают модель с конкретной инженерной задачей.

Так как такие уравнения редко имеют аналитическое решение, их переводят в дискретную форму и решают на расчетной сетке. При этом точность решения задачи сильно зависит от метода дискретизации и способов решения уравнений.

SolidWorks FlowSimulation основан на современных достижениях вычислительной гидро- и газодинамики и решает широкий спектр инженерных задач. В качестве граничных условий можно задать параметры на стенках, во входных и выходных отверстиях, приточные и вытяжные вентиляторы, температура, тепловые и радиационные потоки, а также источники тепла.

Моделирование движения и теплообмена текучей среды происходит за счет уравнений Навье-Стокса, описывающих нестационарные законы сохранения массы, импульса и энергии. Также учитываются уравнения состояния компонентов среды и эмпирические зависимости вязкости и теплопроводности от температуры [17].

Для привязки модели к инженерной задаче в программном комплексе применяется метод фиктивных областей, где расчетная область меньше, чем та, для которой создается расчетная сетка и устанавливаются граничные условия.

Задачи вычислительной гидротермодинамики делятся на внутренние и внешние в зависимости от задания границ расчетной области. Внутренние задачи подразумевают, что расчетная область, заполненная текучей средой, ограничена стенками модели, где некоторые поверхности выступают в роли входных и выходных отверстий. Внешние задачи, в свою очередь, определяют расчетную

область, ограниченную плоскостями сетки, которые располагаются в текущей среде, обтекающей модели.

Для получения численного решения задачи непрерывная нестационарная модель физических процессов дискретизируется по пространству и времени. Расчетная область покрывается сеткой, ячейки которой параллельны координатным плоскостям в системе SolidWorks. При этом применяется метод конечных объемов, где значения переменных вычисляются в центрах ячеек, представляющих собой параллелепипеды.

Так с помощью программного комплекса SolidWorks Flow Simulation было произведено численное моделирование распределения воздушных потоков при естественной и приточно-вытяжной вентиляции в корпусе откорма свиноводческого комплекса при одних и тех же условиях [45]. Объект моделирования представляет собой здание свинокомплекса на 70 голов живой массой по 100 кг. Общая площадь здания 720 м². Суммарные теплотери здания согласно выполненным проектным расчетам через наружные ограждения в холодный период года составили 70 265 Вт, в переходный период – 30 280 Вт. Потери тепла на испарение влаги составили 2209 Вт. Теплопоступления от свиней составили 25 690 Вт.

Рассматривается два случая организации воздухообмена в здании свинокомплекса: за счет естественной вентиляции, когда приток воздуха осуществляется через открытые окна (12 окон, размером 0,15x0,45м каждое) и механической вентиляции, когда приток воздуха осуществляется через воздухораспределители. Параметры температуры приточного воздуха приняты одинаковые для случая естественной и механической вентиляции и равны -20, 0 и 20 °С. Удаление воздуха из помещения осуществляется системой вытяжной вентиляции – расход удаляемого воздуха 4867 кг/ч, что соответствует объемному расходу воздуха 4056 м³/ч. Модели воздушных потоков представлены на рисунках 2.2-2.4.

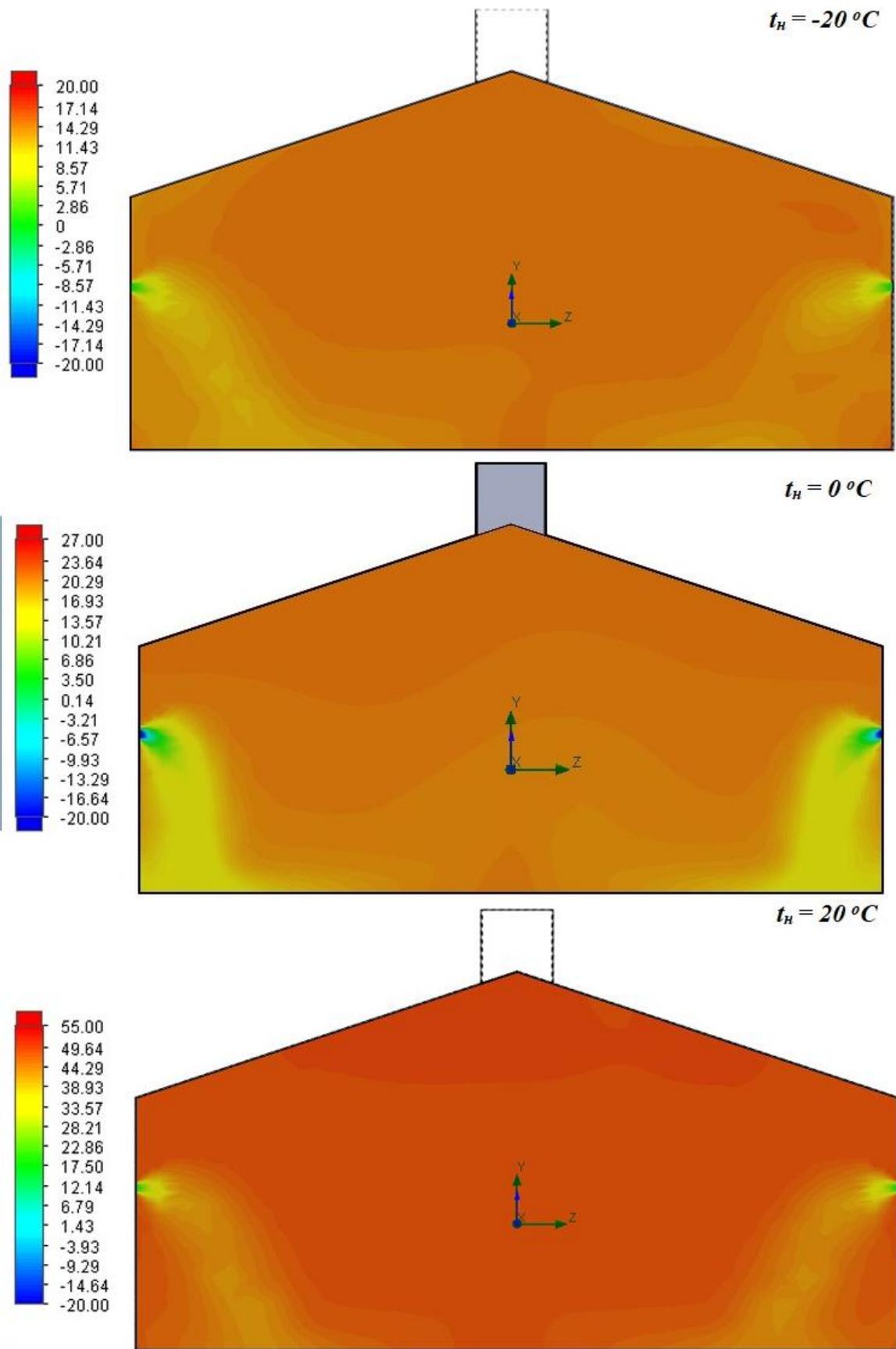


Рисунок 2.2 – Распределение температур воздушных потоков внутри помещения при естественной вентиляции и $t_H = -20, 0, 20^\circ\text{C}$

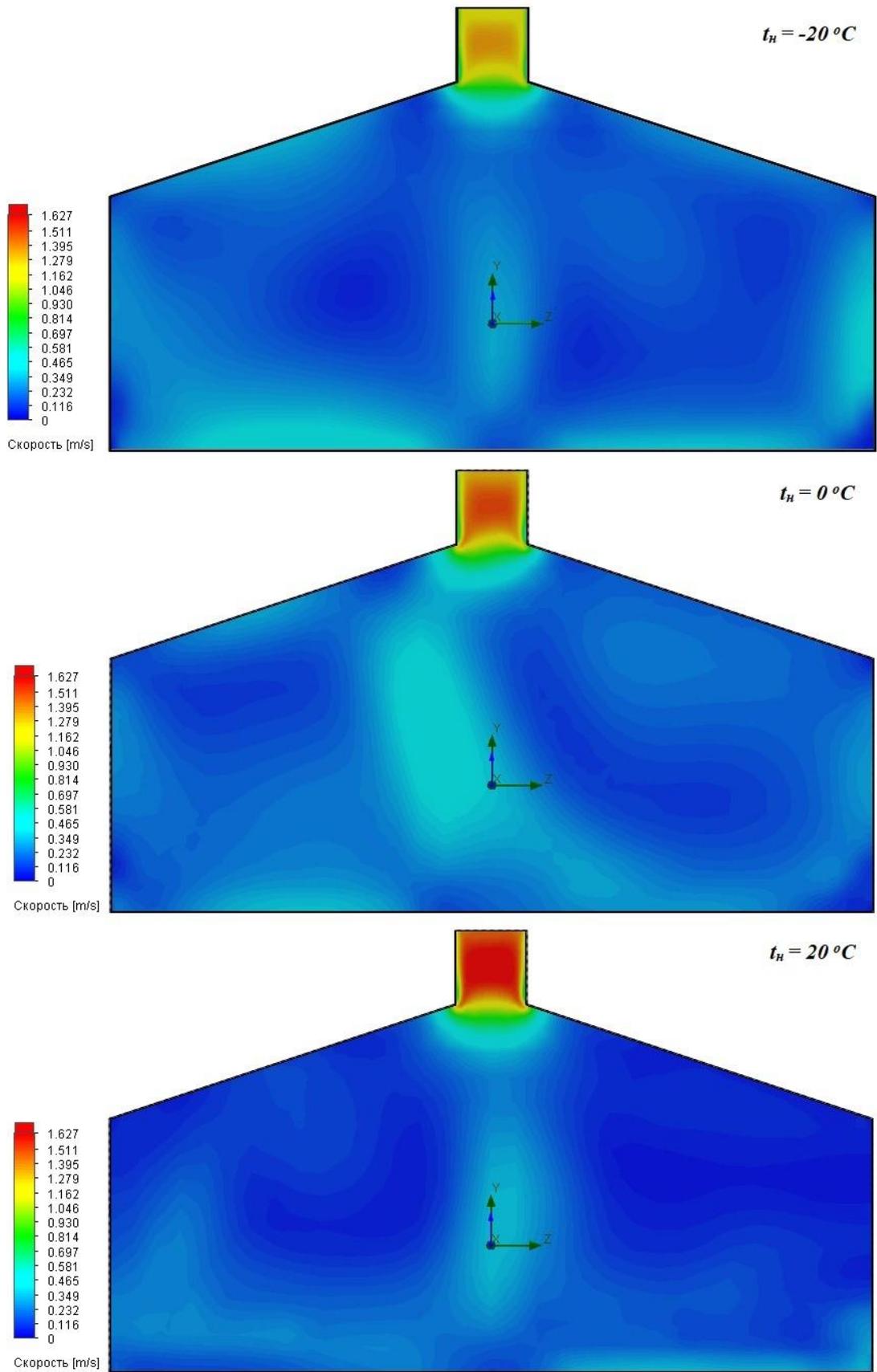


Рисунок 2.3 – Распределение скоростей воздушных потоков внутри помещения при естественной вентиляции и $t_n = -20, 0, 20^\circ\text{C}$

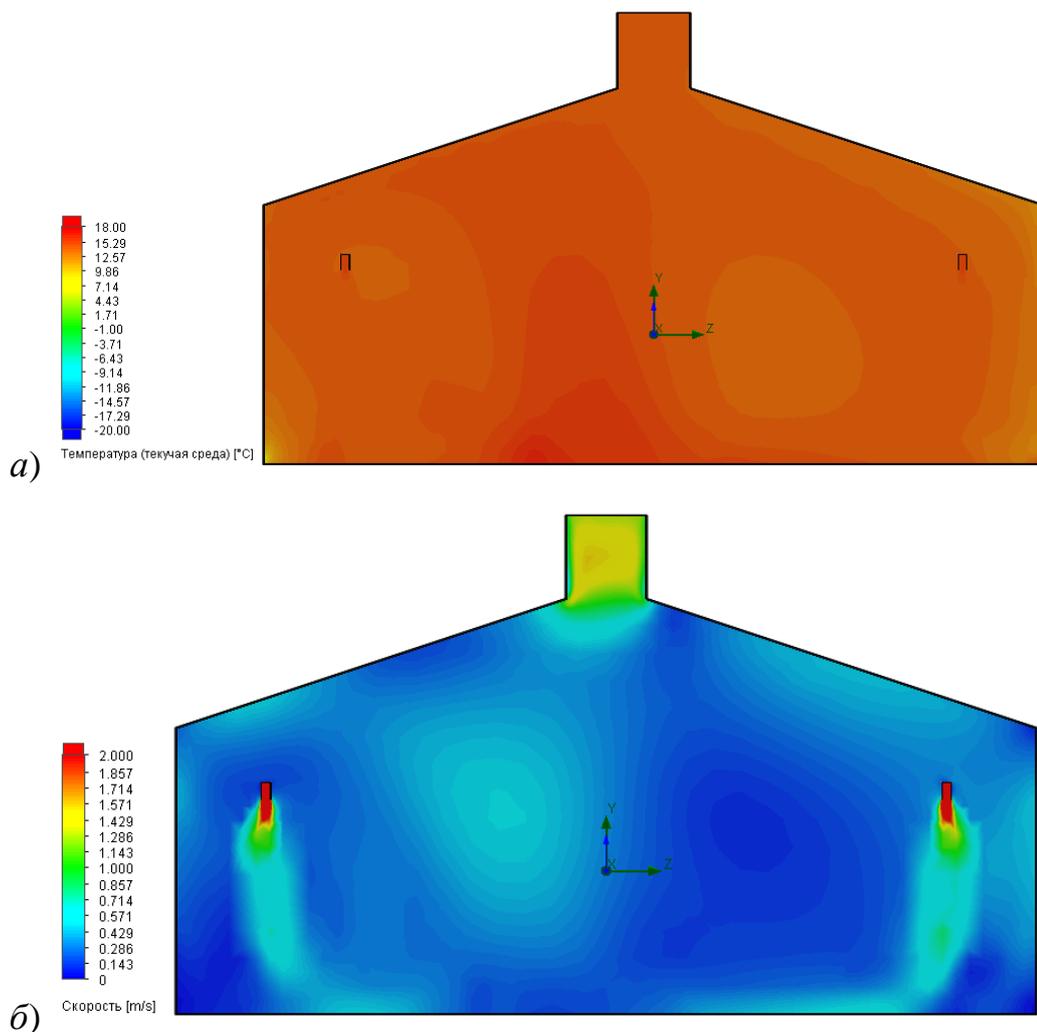


Рисунок 2.4 – Распределение температур (а) и скоростей (б) воздушных потоков через приточные каналы механической вентиляции при температуре подаваемого воздуха 20 °С

Распределение температур (рисунок 2.2) при естественной системе вентиляции в теплый период года и температура внутреннего воздуха в зоне дыхания свиней, а также во всем корпусе в целом, не соответствует нормативным параметрам микроклимата. Наблюдается значительное превышение температуры воздуха внутри откормочного помещения до 35-40 °С в теплый период, что недопустимо. Распределение температур воздушных потоков внутри помещения для переходного и холодного периода года при естественной вентиляции также не соответствует требуемым параметрам микроклимата. Область холодного воздуха с температурой 10-13 °С находится в рабочей зоне пребывания животных и работающего персонала, что создает некомфортные условия.

Из рисунка 2.3 видно, что для естественной системы вентиляции

распределение скоростей воздушных потоков в рабочей зоне помещения находится в допустимых пределах для теплого периода. Для холодного и переходного периода наблюдается несколько завышенная подвижность воздуха (0,5-0,6 м/с), что в совокупности с низкой температурой может провоцировать заболевания животных.

На рисунке 2.4 показано распределение температур и скорости воздуха в производственном помещении при подаче подготовленного воздуха через приточную механическую систему вентиляции. Температура воздуха в рабочей зоне находится в пределах 18 градусов, скорость воздуха составляет 0,2-0,5 м/с, что соответствует нормативным значениям.

На основании анализа результатов моделирования были получены зависимости распределения температур и скоростей воздушных потоков внутри помещения свиноводческого комплекса от способа организации воздухообмена при различных температурах наружного воздуха. Данная зависимость показана на рисунке 2.5.

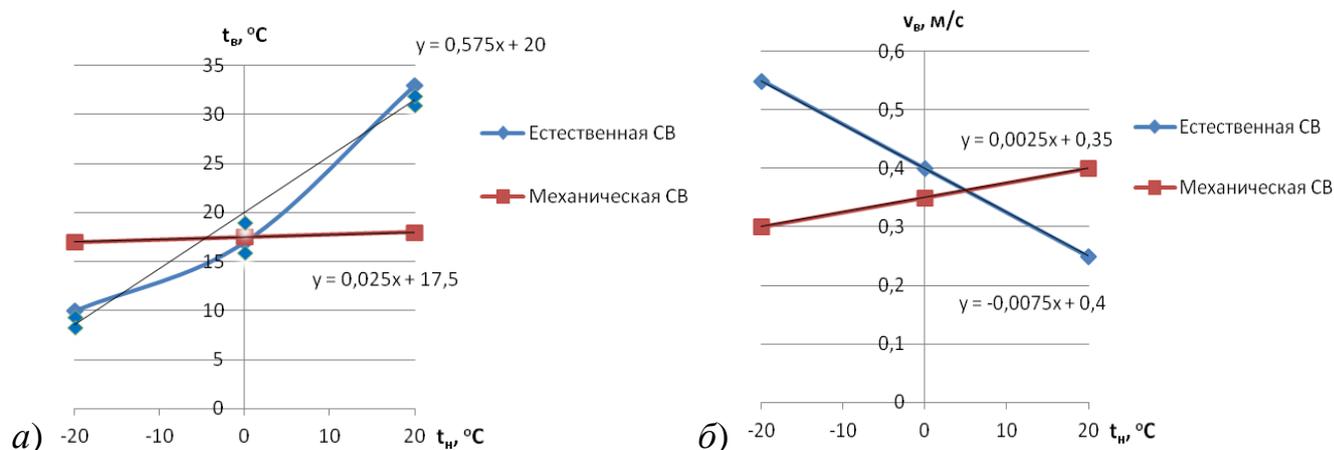


Рисунок 2.5 – Зависимость распределения температур (а) и скоростей (б) воздушных потоков внутри помещения от температуры наружного воздуха при различных способах организации воздухообмена

По данным зависимостям получены уравнения, которыми они описываются. Введем условный показатель оценки эффективности организации воздухообмена, учитывающий интенсивность изменения параметров внутреннего воздуха от температуры наружного воздуха. Обозначим его k_t (из сравнения распределения

температур внутреннего воздуха) и k_v (по скоростям воздушных потоков внутри помещения). Уравнение прямой линии в стандартном виде выглядит так: $y = kx + b$. Запишем данное уравнение для зависимости распределения температур, как:

- для механической системы вентиляции: $y = a_0^{MB} + a_1^{MB} \cdot x_1^{MB}$;

- для естественной системы вентиляции: $y = a_0^{EB} + a_1^{EB} \cdot x_1^{EB}$.

Для зависимости распределения скоростей уравнение будет иметь вид:

- для механической системы вентиляции: $y = b_0^{MB} + b_1^{MB} \cdot x_1^{MB}$;

- для естественной системы вентиляции: $y = b_0^{EB} + b_1^{EB} \cdot x_1^{EB}$.

Тогда показатель эффективности будет отражать отношение коэффициентов уравнений естественной системы вентиляции (a_1^{EB} и b_1^{EB}) к коэффициентам механической системы соответственно (a_1^{MB} и b_1^{MB}):

$$k_t = \frac{a_1^{EB}}{a_1^{MB}} = \frac{0,575}{0,025} = 23 \quad \text{и} \quad k_v = \frac{b_1^{EB}}{b_1^{MB}} = \frac{0,0075}{0,0025} = 3. \quad (2.16)$$

Отсюда следует, что эффективность механической системы вентиляции по отношению к естественной в большей степени проявляется на изменении температуры внутреннего воздуха по сравнению с изменением скорости воздуха внутри помещения. Различие в получившихся значениях показателей $k_t=23$ и $k_v=3$ можно объяснить тем, что в помещении содержания животных происходит выделение значительного количества теплоты от свиней, которое в большей мере влияет на температуру внутреннего воздуха, а не на его подвижность.

При использовании механической системы вентиляции значения коэффициентов a_1 и b_1 в несколько раз меньше чем при работе естественной вентиляции. Следовательно, при работе приточно-вытяжной вентиляции параметр y (t_g и v) в меньшей мере зависит от параметра x , т.е. от изменения температуры наружного воздуха (t_n). Можно сделать вывод о том, что при работе механической вентиляции создаются более постоянные комфортные условия для пребывания животных, чем при работе естественной системы вентиляции.

Таким образом, для обеспечения равномерного распределения температуры и подвижности внутреннего воздуха в рабочей зоне производственного помещения свиного комплекса необходимо организовать механическую приточно-

вытяжную систему вентиляции с предварительной подготовкой воздуха, нагревая его в холодный период года и охлаждая в теплый период.

Для повышения качества микроклимата в помещениях свиноводческих комплексов нами разработана система вентиляции животноводческих помещений (патент на изобретение № 2799158), представленная на рисунке 2.6 и в приложении А.

В предложенном нами решении ключевую роль играет теплообменное устройство, которое установлено вертикально, вытяжной воздуховод соосно размещен внутри приточного, образуя таким образом рекуператор типа «труба в трубе». В нижней части теплообменник оснащен конденсатоотводчиком, а в верхней части связан с вытяжным вентилятором, при этом входной тангенциальный патрубок вытяжного воздуховода теплообменника соединяется с вытяжным зондом, локализирующим сбор вредных выделений. Входной и выходной патрубки приточного воздуховода теплообменника связаны с приточным устройством и конденсатором теплового блока соответственно. После конденсаторного блока приточный воздух поступает в помещение через воздухораспределители [73].

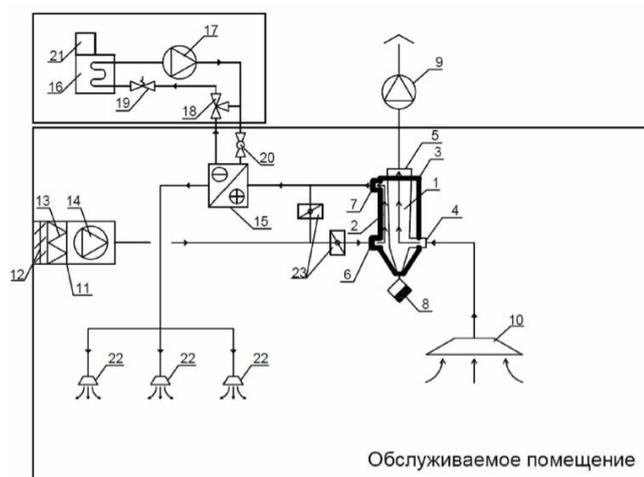


Рисунок 2.6 – Схема системы вентиляции животноводческих помещений:

1 - вытяжной воздуховод; 2 - приточный воздуховод; 3 - теплообменник типа «труба в трубе»; 4, 5 - тангенциальный входной и выходной вытяжные патрубки; 6, 7 - входной и выходной патрубки приточные; 8 - конденсатоотводчик; 9 - вытяжной вентилятор; 10 - вытяжной зонд; 11 - приточное устройство; 12 - приточный клапан; 13 - фильтр; 14 - приточный вентилятор; 15-21 - тепловой насос; 22 - воздухораспределители; 23 - запорные клапаны

Работает система следующим образом. Холодный наружный воздух, подается приточным устройством 11 во внешний воздуховод теплообменника 3 через входной патрубок 6. В теплообменном устройстве 3 приточный воздух нагревается за счет теплопередачи от удаляемого вытяжного воздуха и поступает в помещение через выпускной патрубок 7.

Вытяжной воздух удаляется из помещения через тангенциальный патрубок 4 в рекуператор 3, где удаляемый воздух охлаждается, а на стенках вытяжного воздуховода образуется конденсат с улавливанием паров аммиака. За счёт тангенциального ввода через патрубок 4 обеспечивается воздействие центробежных и инерционных сил, что способствует интенсификации тепло-массообменных процессов, образованию на стенках конденсата, смешанного с парами аммиака, который в свою очередь собирается в нижней части теплообменного устройства 3 и удаляется из конденсатоотводчика 8 в систему водоотведения. Вертикальное расположение теплообменника позволяет эффективно собирать влагу, которая образуется на внутренней стенке вытяжного воздуховода из-за разности температур приточного и вытяжного воздуха. Влага смешивается с аммиаком, тем самым снижая его концентрацию в воздухе.

Задача, на решение которой направлена предлагаемая нами схема системы вентиляции животноводческих помещений, включает повышение энергоэффективности системы и качества микроклимата за счет удаления избыточных вредностей из обслуживаемого помещения, в частности влаги и аммиака, обеспечение нормативных параметров микроклимата за счет введения в систему теплонасосной установки, позволяющей нагревать воздух в холодный период и охлаждать в теплый в соответствии с требованиями санитарных норм животноводческих предприятий [31].

2.3 Описание тепло-массообменных процессов и разработка модельной установки рекуператора на основе гидродинамического подобия процессов

Для исследования тепло-массообменных процессов в рекуператоре типа «труба в трубе», представленном на рисунке 2.6, необходимо рассмотреть тепло-массообменные процессы с последующей разработкой модельной установки с использованием теории подобия.

2.3.1 Описание тепло-массообменных процессов в рекуператоре

При расчете теплообменного аппарата определяют необходимую поверхность теплопередачи, выбирают тип аппарата и стандартную конструкцию, которая удовлетворяет технологическим требованиям.

Для проведения расчета выделяют несколько групп параметров. Первая группа – это режимные параметры, описывающие состояние потоков, участвующих в теплообмене: давление, температура, энтальпия на входе и выходе аппарата, а также тепловая нагрузка устройства [64, 78].

Вторая группа включает теплофизические свойства веществ, участвующих в процессе теплообмена – теплоемкость, вязкость, плотность и теплопроводность, которые зависят от давления, температуры и состояния вещества.

Третья группа – конструктивные параметры, характеризующие размеры и параметры теплообменных труб ($d_{ВН}$, d_0 , d_H , $F_{Нап}/F_{ВН}$).

Интенсивность теплопередачи в аппаратах зависит от величины удельного теплового потока, передаваемого от более нагретого теплоносителя к менее нагретому:

$$q = \frac{Q}{F}. \quad (2.17)$$

Необходимую поверхность теплопередачи определяют из основного уравнения теплопередачи:

$$F = Q / (k \cdot \Delta t_{cp}), \quad (2.18)$$

где Q – тепловая нагрузка теплообменного аппарата, Вт; k – средний для поверхности F коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С); Δt_{cp} – средний температурный напор, °С.

Тепловую нагрузку Q находят на основе уравнения теплового баланса для одного из теплоносителей, с учетом заданных технологических условий:

$$Q = G_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1н} - t_{1к}) = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2н} - t_{2к}), \quad (2.19)$$

где G – массовый расход теплоносителя, кг/с; c – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·°С).

Если агрегатное состояние теплоносителя не меняется, среднюю температуру потока можно определить как среднеарифметическую от начальной и конечной температур:

$$t_i = (t_{ин} + t_{ик}) / 2. \quad (2.20)$$

Однако для более точного значения средней температуры теплоносителя применяется средняя разность температур, которая учитывает температурные изменения по длине аппарата:

$$t_i = t_{ин} \pm \Delta t_{cp}, \quad (2.21)$$

где t_i – среднеарифметическая температура теплоносителя с меньшим перепадом температуры вдоль поверхности теплообмена, °С.

В теплообменных аппаратах с параллельным (прямоточным) или противоположным (противоточным) движением теплоносителей средняя разность температур рассчитывается как среднелогарифмическая между большей $\Delta t_б$ и меньшей $\Delta t_м$ температурными разностями теплоносителей на входе и выходе аппарата:

$$\Delta t_{cp} = \Delta t_{cp.лог} = (\Delta t_б - \Delta t_м) / \ln(\Delta t_б / \Delta t_м). \quad (2.22)$$

Этот расчет обеспечивает точное значение средней разности температур, что позволяет корректно определить тепловую нагрузку и, соответственно, параметры теплопередачи для аппарата.

Если температурные разности $\Delta t_б$ и $\Delta t_м$ отличаются незначительно (не более чем в 2 раза), то среднюю разность температур можно аппроксимировать

как среднеарифметическое между ними:

$$\Delta t_{cp,ap} = (\Delta t_{\sigma} + \Delta t_{\mu}) / 2. \quad (2.23)$$

В теплообменниках с противотоком средняя разность температур Δt_{cp} при прочих равных условиях выше, чем в случае прямотока, однако это различие почти исчезает при малом изменении температуры одного из потоков [60,77].

Для определения необходимой поверхности теплопередачи и выбора подходящей конструкции аппарата нужно рассчитать коэффициент теплопередачи через цилиндрическую стенку:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_{вн}^{cm}} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln\left(\frac{d_n^{cm}}{d_{вн}^{cm}}\right) + \frac{1}{\alpha_2 d_n^{cm}}}, \quad (2.24)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи со стороны теплоносителей, Вт/(м²·К); λ – теплопроводность материала стенки, Вт/(м·°С); $d_{вн}^{cm}$ и d_n^{cm} – соответственно внутренний и наружный диаметр контактирующей трубы, м.

Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 от теплоносителей к стенке, через которую осуществляется теплообмен, зависят от условий теплообмена, режима движения теплоносителей, их теплофизических характеристик, а также от геометрии и размеров теплообменной поверхности.

Выбор формул для более точного расчета коэффициентов теплоотдачи определяется типом теплообмена, характеристиками теплообменной поверхности, конструкцией аппарата и режимом течения теплоносителя [26, 75]. В обобщенном виде критериальное уравнение для коэффициента теплоотдачи имеет вид:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr, \Gamma 1, \Gamma 2, \dots),$$

где Re – критерий Рейнольдса; Pr – критерий Прандтля; Gr – критерий Грасгофа; $\Gamma 1, \Gamma 2$ – симплексы геометрического подобия.

Во многие расчетные формулы для определения коэффициента теплоотдачи в явном или неявном виде входит температура стенки [37]. Ее можно определить из соотношения:

$$\Delta t_{cm,i} = \Delta t_i \pm K \Delta t_{cp} / \alpha_i, \quad i = 1, 2. \quad (2.25)$$

Критерий Нуссельта для теплообменного устройства по типу «труба в трубе» со стороны греющего (уравнение (2.26)) и со стороны нагреваемого (2.27) теплоносителя соответственно равен [23]:

$$\text{Nu}_{y\partial} = A \cdot \text{Re}_{y\partial}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{y\partial}^{0,43} \cdot (\text{Pr}_{y\partial} / \text{Pr}_{cm.y\partial})^{0,25}, \quad (2.26)$$

$$\text{Nu}_{np} = A \cdot \text{Re}_{np}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{np}^{0,43} \cdot (\text{Pr}_{np} / \text{Pr}_{cm.np})^{0,25} \cdot (d_{np} / d_n^{cm})^{0,18}, \quad (2.27)$$

где коэффициент A устанавливают в зависимости от свойств теплоносителя, характера и режима его течения. Значение данного коэффициента мы должны установить для нашего ТМО устройства.

Данные формулы справедливы при $d_{np}/d_n^{cm} = 1,2\sim 14$ и $\text{Pr} \geq 0,7$. Также уравнение (2.27) позволяет учесть теплоотдачу от внутренней (контактирующей) стенки.

2.3.2 Основы гидродинамического подобия тепло-массообменных процессов, разработка модельной установки

Современные методы исследования сложных технологических процессов, разработанные отечественными учёными, сочетают теоретический анализ с экспериментальными данными. Выводя дифференциальные уравнения, описывающие процесс, учёные используют теорию подобия для их преобразования в обобщённые критерии, которые затем уточняются на основе экспериментальных данных и приводятся к удобному расчетному виду. Математический подход включает одинаковые для всех процессов дифференциальные и критериальные уравнения [51].

Основная цель моделирования — предсказать поведение объекта в рабочих условиях производства через расчет параметров оригинала на основе измеренных данных модели. Метод основан на подобии объектов, то есть таких объектов, у которых соответствующие параметры отличаются только масштабом физических величин.

Этапы моделирования процессов и аппаратов включают:

- 1) Формулировку математической модели процесса и установление граничных условий.
- 2) Определение критериев подобия, выделение основного критерия, содержащего искомую величину, и его выражение через остальные критерии.
- 3) Подбор констант подобия для параметров, обеспечивающих корректное масштабирование физических величин.
- 4) Разработку и производство модели с рабочим объёмом, геометрически подобным рабочему объёму промышленного аппарата.
- 5) Обеспечение соответствия диапазонов значений критериальных величин в модели и промышленном аппарате.

При соблюдении этих условий все параметры, характеризующие явление в модели и образце, будут пропорциональны, обеспечивая соответствие по всему объёму модели.

Для описания нестационарных процессов теплообмена используется уравнение Фурье-Кирхгофа:

$$F_o = \frac{a \cdot \tau}{l^2}. \quad (2.28)$$

Необходимым условием для обеспечения подобия в нестационарных процессах теплообмена является равенство критериев Фурье F_o в соответствующих точках тепловых потоков. Этот критерий соответствует критерию гомохронности в задачах гидродинамического подобия.

Критерий Прандтля характеризует распределение теплофизических свойств в потоке:

$$Pr = \frac{\nu}{a}. \quad (2.29)$$

Равенство критериев Нуссельта определяет сходство процессов теплопередачи на границе между теплоносителем и стенкой. Полученные числа подобия позволяют вывести уравнение для конвективного теплообмена:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr, F_o), \quad (2.30)$$

Для конкретных задач уравнение можно упростить. В стационарных процессах критерий F_o исключается:

$$\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Gr}, \text{Pr}). \quad (2.31)$$

При наличии вынужденной конвекции, когда естественной конвекцией пренебрегают исключается критерий Gr:

$$\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Gr}, \text{Pr}) \text{ или } \text{Nu} = A \cdot \text{Re}^n \cdot \text{Pr}^m. \quad (2.32)$$

В результате, используя критерий Нуссельта, можно определить коэффициент теплоотдачи:

$$\text{Nu} = \alpha \cdot l / \lambda. \quad (2.33)$$

С помощью уравнений подобия обработано множество экспериментальных данных по конвективному теплообмену, что позволяет определить коэффициенты теплоотдачи для основных случаев.

Для обеспечения подобия модели образцу необходимо соблюдение следующих условий: процесс должен быть одинаковой физической природы и описываться схожими дифференциальными уравнениями. Условия однозначности должны совпадать, кроме значений констант, а также должны быть соблюдены:

- геометрическое подобие образца и модели,
- подобие движения теплоносителя на входных сечениях,
- соответствие температурных полей и физических параметров в соответствующих точках

Критериальные числа подобия в аналогичных точках модели и образца должны совпадать численно [34, 51].

При расчете теплообменной установки для помещения животноводческого комплекса были определены геометрические параметры натурной установки в соответствии с нормативными документами ГОСТ, СП, ТР и др.

В данной работе для перехода от натурной установки к модельной использовано подобие отношений геометрических параметров и параметров воздушных потоков во внешнем трубопроводе (приточном) и внутреннем (удаляемом) трубопроводе.

Системы характеризуются следующими геометрическими параметрами:

Натурная установка: диаметр приточного воздуховода $d_{пр.н.}$, диаметр вытяжного воздуховода $d_{уд.н.}$, длина l_n , число Рейнольдса для приточного воздуховода $Re_{пр.н.}$, число Рейнольдса для вытяжного воздуховода $Re_{уд.н.}$

Модельная установка: диаметр приточного воздуховода $d_{пр.м.}$, диаметр вытяжного воздуховода $d_{уд.м.}$, длина l_m , число Рейнольдса для приточного воздуховода $Re_{пр.м.}$, число Рейнольдса для вытяжного воздуховода $Re_{уд.м.}$

Для того чтобы системы были геометрически подобными, необходимо выполнение следующих условий:

$$\frac{d_{пр.н.}}{d_{пр.м.}} = \frac{d_{уд.н.}}{d_{уд.м.}} = \frac{l_n}{l_m} = \frac{Re_{пр.н.}}{Re_{пр.м.}} = \frac{Re_{уд.н.}}{Re_{уд.м.}} = k, \quad (2.34)$$

$$\frac{1,0}{0,3} = \frac{0,65}{0,2} = \frac{3,3}{1,0} = \frac{36921}{10512} = \frac{80091}{24705} = k \approx 3,3.$$

В результате был получен постоянный коэффициент подобия, позволяющий получать необходимые параметры модельной установки относительно натурной. Также на основании теории подобия установлены размеры модельной установки, представленные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Геометрические размеры и параметры воздушных потоков в модельной и натурной установках

Параметры		Диаметр d , м	Длина L , м	Число Рейнольдса Re
Натура	приточный (внешний тр-д)	1,00	3,30	36921
	удаляемый (внутренний тр-д)	0,65		80091
Модель	приточный (внешний тр-д)	0,30	1,00	10512
	удаляемый (внутренний тр-д)	0,20		24705

Используя методы математического моделирования движения воздушных потоков, рассмотрим на примере теплообменного устройства в системе вентиляции животноводческого комплекса эффективность теплообмена и

теплопередачи теплоносителя с учетом различных температур, скоростных режимов и способа подачи приточного или удаляемого воздуха [43].

При проведении исследования была использована математическая модель теплообменного устройства (рисунок 2.6).

Такие параметры, как внутренний диаметр наружного приточного воздуховода (0,3 м), внутренний диаметр внутреннего вытяжного воздуховода (0,2 м) и параметры отработанного удаляемого воздуха ($t_y = +25$ °С, $\varphi = 70$ %) – оставались неизменными на протяжении множества циклов моделирования. Для удобства расчета теплообмена установки, длина участка теплоутилизатора, где протекает процесс теплопередачи, принята за 1 погонный метр. Расчетные характеристики теплообменной установки, участвующие в процессе моделирования тепломассообмена, это площадь поверхности теплообмена равная $0,628$ м², и площадь живого сечения теплообменника равная $0,03927$ м².

2.4 Исследование влияния режимных параметров на тепло-массообменные процессы в модельной установке рекуператора

Основной задачей исследования является:

- выбор способа подачи теплоносителей во внутреннюю трубу и межтрубное пространство через патрубки, расположенные перпендикулярно или коаксиально;

- выявить рациональные соотношения скоростей приточного и удаляемого воздуха, обеспечивающих максимальную эффективность теплообменных процессов;

- определить температурный интервал протекания массообменных процессов конденсации паров удаляемого воздуха на стенках внутренней трубы установки без перехода конденсата в твердое состояние (образования наледи).

Был проведен ряд математических моделирований процесса изменения температур потоков приточного и удаляемого при протекании процесса теплопередачи через плоскую цилиндрическую стенку. На рисунке 2.7

рассматривается случай, когда приточный и удаляемый воздух через входные патрубки подается перпендикулярно по отношению к каждой из труб теплообменного устройства.

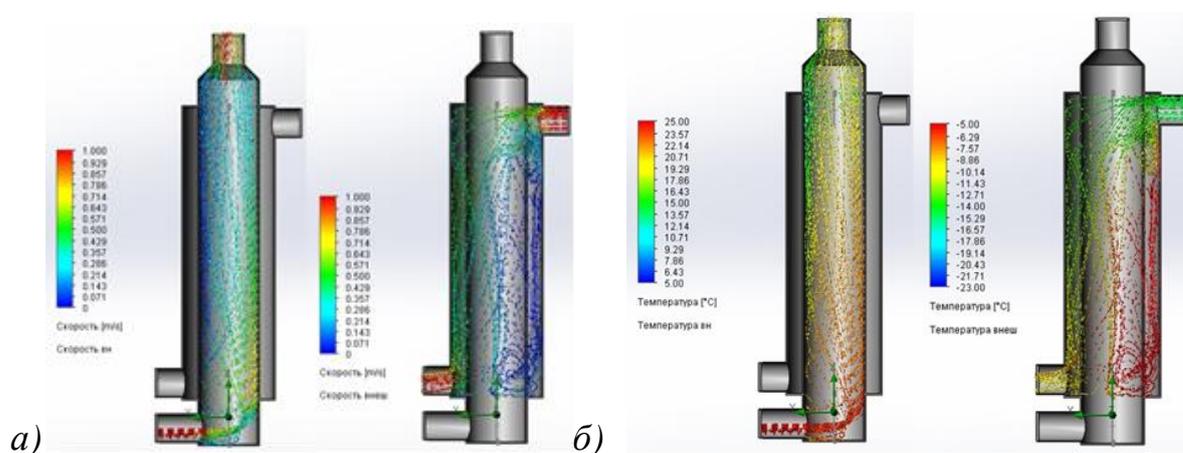


Рисунок 2.7 – Визуальное и численное изменение скорости (а) и температуры (б) воздушных потоков при прямом присоединении входных патрубков при $t_{пр} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $V_{пр}=1\text{ м/с}$

В данном случае распределение воздушных потоков происходит неравномерно. В некоторых частях теплообменника образуются застойные зоны, в которых скорость движения воздушных потоков практически равна нулю. Как следствие, теплообмен происходит неэффективно, и использование такого способа присоединения патрубков нецелесообразно.

В связи с этим было принято решение: патрубки приточного и вытяжного воздуховода установить тангенциально по отношению к теплообменнику и снова провести ряд математических моделирований с принятым условно шагом изменения значений температуры приточного воздуха ($t_{пр} = -24, -15, -10$ и $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Задачей моделирования являлось определение минимальной температуры, при которой начинался процесс обмерзания стенок внутренней трубы теплоутилизатора. Результаты моделирования рекуператора при тангенциальном присоединении входных патрубков представлены на рисунках 2.8, 2.9.

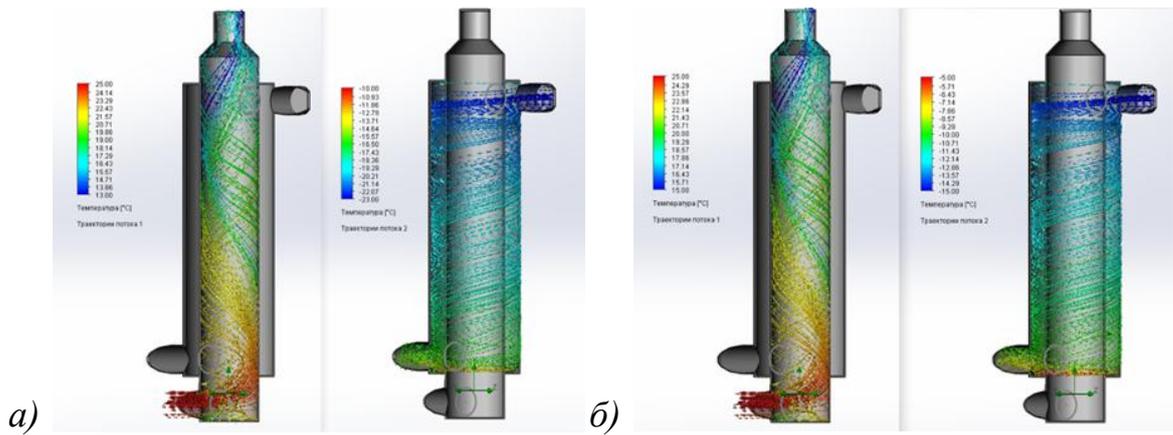


Рисунок 2.8 – Визуальное и численное изменение температуры удаляемого и приточного потоков воздуха, соответственно, при $V_{пр} = 1$ м/с и: *a* - при $t_{пр} = -24$ °С, *б* - при $t_{пр} = -15$ °С

Из результатов моделирования видно, что при температуре приточного воздуха равной -24 °С (рисунок 2.8, а) будет происходить наледнение конденсата на внутренней трубе теплообменника, так как температура стенки практически всей контактируемой площади теплообмена отрицательна (от -7 до $-9,7$ °С в зависимости от скорости подаваемого воздуха).

При температуре приточного воздуха равной -15 °С (рисунок 2.8, б) средняя температура контактируемой стенки составляет $1,59$ °С. Однако в верхней части внутреннего воздуховода температура стенки напротив приточного патрубка понижается до минимального значения равного $-3,76$ °С, что свидетельствует о начале процесса обмерзания конденсата.

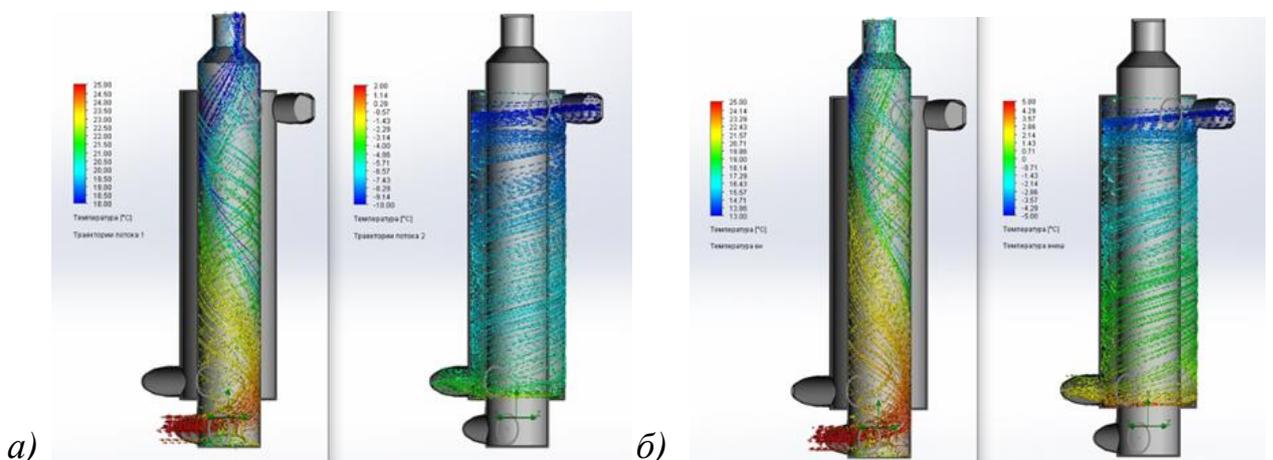


Рисунок 2.9 – Визуальное и численное изменение температуры удаляемого и приточного потоков воздуха, соответственно, при $V_{пр} = 1$ м/с и: *a* - при $t_{пр} = -10$ °С, *б* - при $t_{пр} = -5$ °С

При температурах наружного воздуха $t_{\text{пр}} = -10$ °С и выше, обмерзания стенок происходить не будет, так как и минимальное и среднее значение температуры стенок положительны (выше нуля) (рисунок 2.9).

Также было установлено, что при тангенциальном присоединении патрубков обеспечивается воздействие центробежных и инерционных сил, что способствует интенсификации тепло-массообменных процессов, равномерному распределению воздушных потоков в теплообменном устройстве с образованием на стенках конденсата.

2.5 Теоретические исследования процессов конденсации паров воды в теплообменном устройстве при различных теплофизических параметрах среды и концентрации вредных примесей

Доля влияния микроклимата на продуктивность животных составляет около 25–30 %. В процессе жизнедеятельности животные выделяют большое количество тепла, влаги и вредных газов. Состояние здоровья и продуктивная способность свиней зависит не только от их генетических качеств, но и от микроклимата помещений, где содержатся животные. В помещении микроклимат создается за счет многих факторов: внешних климатических условий, технологии содержания, типа материалов ограждающих конструкций, воздухообмена, системы навозоудаления [36].

Относительная влажность воздуха оказывает на свиней большое влияние. Высокая относительная влажность в помещениях снижает переваримость питательных веществ. Влажность воздуха и температура взаимосвязаны и совместно воздействуют на теплорегуляцию и обмен веществ в организме животного. Относительная влажность воздуха должна находиться в пределах 60-80 %, а предельно допустимая – 85 %. Сухой воздух (относительная влажность ниже 50%) также оказывает негативное влияние на организм животного, вызывая раздражение слизистых оболочек глаз, дыхательных путей, усиленную жажду, и,

как следствие, ухудшение аппетита и усвоение питательных веществ [35, 81, 97].

Аммиак – газ с резким запахом, сильно раздражающий слизистые оболочки. Несвоевременное удаление навоза из теплого помещения приводит к накоплению аммиака, и в результате раздражения слизистых оболочек у животных на них образуются микротрещины, куда легко проникают микроорганизмы, обуславливающие развитие воспалительных процессов. В свиноводческих помещениях концентрация аммиака в воздухе очень высокая [39, 74, 84]. Продукты разложения отходов жизнедеятельности являются основными источниками образования аммиака. В зоне расположения и дыхания животных, т.е. на высоте 30-40 см от пола, наблюдается наибольшая концентрация аммиака.

Выбросы значительного количества аммиака негативно влияют не только на здоровье и продуктивность животных, но и на окружающую среду. В зоне животноводческих комплексов атмосферный воздух загрязнен микроорганизмами, пылью, аммиаком и другими продуктами жизнедеятельности животных, часто обладающими неприятными запахами. Эти запахи могут распространяться на значительном расстоянии (до 10 км) [30, 53].

С целью решения проблемной ситуации был произведен расчет количества влаги, образующейся во внутреннем воздухе помещений свиноводческих комплексов для разных групп животных и при различной живой массе. Удаляемый из помещения увлажненный воздух ($t_y = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) поступает в тепло-массообменную установку. Так как температура точки росы для удаляемого воздуха составляет $13,5 \text{ }^\circ\text{C}$, а температура внутренней стенки не превышает $10 \text{ }^\circ\text{C}$, то из-за разницы температур ($t_{ст} < t_{т.р}$) будет происходить образование конденсата на внутренней стенке внутреннего воздуховода. В теоретических исследованиях принято, что вся влага, выделяемая животными в помещении и поступающая в ТМУ, будет конденсироваться.

Также, используя известные табличные данные, было определено количество аммиака, выделяемое животными в зависимости от их возраста и массы. Известно, что благодаря большой растворимости аммиака (в 1 объеме воды при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ растворяется 702 объема аммиака) большая часть газа будет

растворяться. Таким образом, удаляемый из помещений свиного комплекса загрязненный аммиаком воздух, при взаимодействии с конденсатом в тепло-массообменном устройстве (ТМУ) будет образовывать аммиачный раствор, тем самым снижая концентрацию аммиака в выбрасываемом в атмосферу воздухе. В результате расчета определена массовая концентрация аммиака в получившемся аммиачном растворе. Расчеты производились для одинаковой суммарной живой массы животных равной 30 ц. Результаты расчетов количества аммиака, улавливаемого конденсатом в реальных условиях содержания животных, представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчета улавливания аммиака конденсируемой влагой

№ п/п	Группа животных	Живая масса, кг	Водяные пары, г/ч	Аммиак, удельное количество г на 1 ц живой массы, г/с	Водяные пары, выделяемые 30 ц свиней, кг/ч	Аммиак, выделяемый 30 ц свиней, кг/ч	Расход воздуха G, кг/ч	Кол-во конденсируемой влаги, кг/ч	Массовая концентрация аммиака, %
1	Свиноматки холостые, супоросные (до 105 дней)	150	134	0,00027375	3,484	0,01971	1301	5,20	0,38
		200	155	0,000365	3,023	0,01971	1122	4,49	0,44
2	Свиноматки тяжелосупоросные (105 - 114 дней)	150	162	0,00036675	4,212	0,026406	1569	6,28	0,42
		200	183	0,000489	3,569	0,026406	1330	5,32	0,49
3	Свиноматки подсосные с поросятами	150	319	0,0001875	8,294	0,0135	3083	12,33	0,11
		200	369	0,00025	7,196	0,0135	2677	10,71	0,13
4	Поросята до 2-месячного возраста	10	41,1	0,000018	16,029	0,01944	5965	23,86	0,08
		15	52,6	0,000027	13,676	0,01944	5092	20,37	0,10
5	Поросята-отъемыши	15	52,6	0,000027	13,676	0,01944	5092	20,37	0,10
		20	58,8	0,000036	11,466	0,01944	4271	17,08	0,11
		25	62,8	0,000045	9,797	0,01944	3667	14,67	0,13
		30	68,4	0,000054	8,892	0,01944	3310	13,24	0,15
		35	75,2	0,000063	8,379	0,01944	3115	12,46	0,16
		40	82,1	0,000072	8,005	0,01944	2986	11,95	0,16
6	Ремонтный и откормочный молодняк	40	82,1	0,000072	8,005	0,01944	2986	11,95	0,16
		50	94,1	0,00009	7,340	0,01944	2736	10,94	0,18
		60	104	0,000108	6,760	0,01944	2512	10,05	0,19
		70	114	0,000126	6,351	0,01944	2351	9,40	0,21
		80	123	0,000144	5,996	0,01944	2222	8,89	0,22
		90	130	0,000162	5,633	0,01944	2099	8,39	0,23
		100	138	0,00018	5,382	0,01944	2007	8,03	0,24
		110	144	0,000198	5,105	0,01944	1907	7,63	0,25
		120	150	0,000216	4,875	0,01944	1817	7,27	0,27
7	Взрослые свиньи на откорме	100	152	0,000254	5,928	0,027432	2201	8,81	0,31
		200	204	0,000508	3,978	0,027432	1479	5,92	0,46
		300	259	0,000762	3,367	0,027432	1250	5,00	0,55

На основании анализа полученных результатов была получена зависимость (рисунок 2.10), которая описывает влияние возраста и массы животного на концентрацию аммиака в аммиачном растворе.

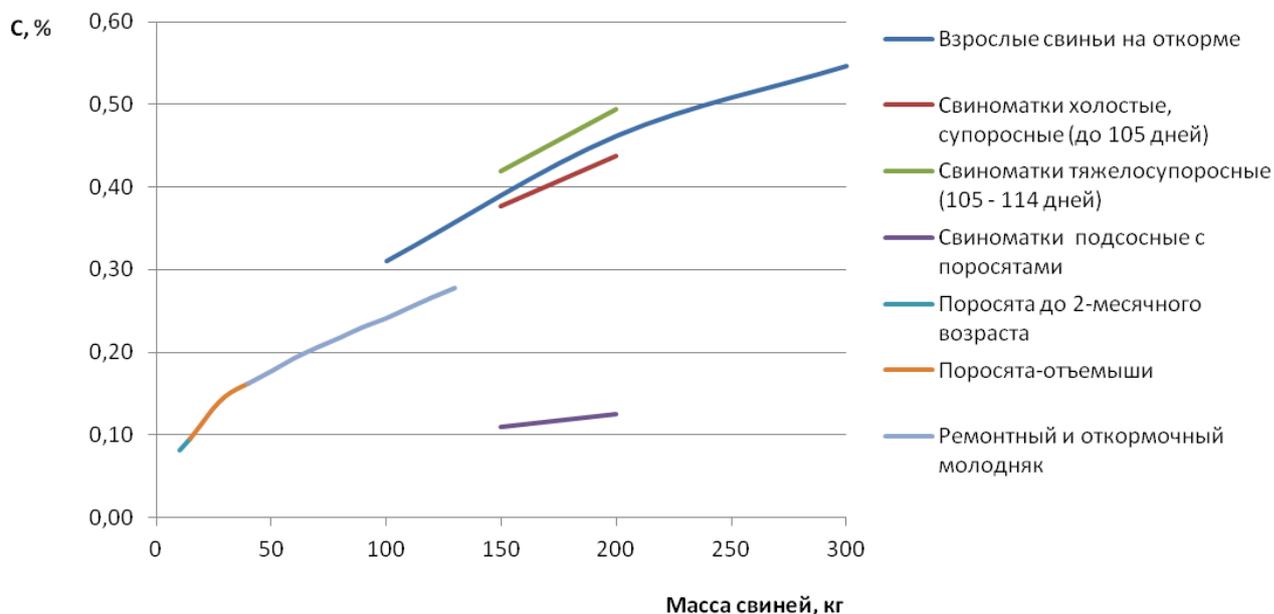


Рисунок 2.10 – Зависимость концентрации аммиачного раствора от живой массы животных

Данная зависимость показывает, что чем больше масса и возраст животного, тем больше и концентрация аммиачного раствора. Однако эта концентрация получается достаточно низкой, что позволяет производить выброс раствора в систему водоотведения.

Также возможно применение водного раствора аммиака как жидкого удобрения, содержащего аммонийный азот. Раствор аммиака, как и прочие жидкие азотные удобрения, применяется в качестве основного удобрения под все сельскохозяйственные культуры, а также для подкормки пропашных культур при междурядной обработке почвы [4].

2.6 Выводы

1. Рассмотрены основные принципы математического моделирования тепло-массообменных процессов в производственных помещениях. Произведено обоснование и выбор программы для визуализации динамики изменения линий тока и температуры в помещениях животноводческих комплексов с различной системой организации воздухообмена.

2. С помощью программного комплекса SolidWorks FlowSimulation рассмотрены два случая организации воздухообмена в здании свиного комплекса: за счет естественной вентиляции, когда приток воздуха осуществляется через открытые окна, и механической вентиляции, когда приток воздуха осуществляется через воздухораспределители.

Распределение температур и скоростей воздушных потоков при работе естественной системы вентиляции для всех периодов года не соответствует требуемым параметрам микроклимата.

Распределение температур и скоростей воздуха в корпусе откорма при подаче подготовленного воздуха через приточно-вытяжную механическую систему вентиляции соответствует нормативным значениям.

3. Предложен условный показатель эффективности, отражающий отношение коэффициентов уравнений естественной системы вентиляции к коэффициентам механической системы соответственно. Эффективность механической системы вентиляции по отношению к естественной в большей степени проявляется на изменении температуры внутреннего воздуха по сравнению с изменением скорости воздуха внутри помещения. Также при работе приточно-вытяжной вентиляции параметр y (t_g и v) в меньшей мере зависит от параметра x , т.е. от изменения температуры наружного воздуха (t_n), а следовательно, создаются более постоянные комфортные условия для пребывания животных, чем при работе естественной системы вентиляции.

4. Для повышения качества микроклимата в помещениях свиноводческих комплексов разработана система вентиляции животноводческих помещений,

включающая тепло-массообменное устройство по типу «труба в трубе» (патент на изобретение РФ № 2799158).

5. Для изучения процессов теплопереноса в теплообменнике типа «труба в трубе» использован метод физического моделирования. Получен постоянный коэффициент подобия равный 3,3, который служит для перехода от натурной установки к модельной и позволяет получать необходимые зависимости процессов тепло-массообмена на модельной установке с последующим применением их к реальным условиям.

6. При использовании программного комплекса SolidWorks FlowSimulation произведено моделирование процессов в теплообменной установке (ТМУ) по типу «труба в трубе». Параметры температуры приточного воздуха приняты -24, -15, -10 и -5 °С с целью определения минимальной температуры, при которой не будет происходить обмерзание стенок внутренней трубы. Установлено, что при температурах наружного воздуха выше -10 °С обмерзания стенок происходить не будет, так как устанавливается значение температуры стенок больше 0 °С.

Установлено, что при подаче приточного и удалении вытяжного воздуха через входные патрубки, расположенные перпендикулярно по отношению к каждой из труб теплообменного устройства, процесс теплообмена происходит неэффективно с образованием застойных зон. Поэтому принято решение установить патрубки приточного и вытяжного воздуховода тангенциально по отношению к теплообменнику.

7. Произведен расчет количества влаги, которое может быть сконденсировано на стенках рекуператора в зависимости от массы и возраста животных. Определено количество аммиака, выделяемого различными группами животных разной массы. Рассчитана массовая концентрация аммиака в получившемся аммиачном растворе на выходе из ТМУ. Построена зависимость концентрации водного раствора аммиака от возраста и массы животных.

ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА В ЦЕХАХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

3.1 Характеристика объекта исследования

ООО «АПК «ПРОМАГРО» (Старооскольский городской округ Белгородской области) – это предприятие, специализирующееся на выращивании и производстве свиноводства, субпродуктов из свинины, переработке мясной продукции, растениеводстве и комбинированных кормов для животноводства. «ПРОМАГРО» имеет три свиноводческих комплекса «Оскольский бекон» с общим поголовьем более 300 тыс. животных и производительной мощностью более 60 тысяч тонн в живом весе в год; комплекс по производству и переработке мяса и комбикормовое производство.

Объектом исследования является корпус откорма свиноводческого комплекса «Оскольский бекон - 3» (рисунок 3.1), расположенный в селе Хорошилово, так как он создает больше всего проблем, связанных с вредными выбросами в окружающую среду.



Рисунок 3.1 – Свиноводческий комплекс «Оскольский бекон -3»

Рассматриваемый корпус откорма свиноводческого комплекса имеет габаритные размеры 60x12x5м, объем помещения $V = 3600 \text{ м}^3$, общая площадь здания $S = 720 \text{ м}^2$. В нем находится 70 свиней, каждая живой массой по 100 кг.

В помещении содержания животных выделяются следующие вредности: CO_2 , влагопоступления от свиней, тепlopоступления от свиней, тепlopоступления от солнечной радиации.

Для расчета вентиляционных систем в помещениях свиноводческих комплексов, характеристики наружного воздуха принимаются из строительной климатологии. Они соответствуют параметрам – Б.

На основании многих результатов исследований рекомендуются следующие параметры микроклимата для свиней на откорме: температура воздуха 16-20 °С (расчетная 18 °С), оптимальная влажность 40-75 % (расчетная 60%), скорость движения воздуха 0,3-0,7 м/с.

Исходные данные для исследования:

Район строительства – г. Старый Оскол Белгородской области

Общая площадь - 720 м²

Средняя температура наиболее холодной пятидневки

обеспеченностью 0,92 - (-24°С)

Средняя температура за отопительный период – (-1,9 °С)

Продолжительность отопительного периода - 187 сут.

Географическая широта района строительства города - 51°17′

Зона влажности расположенного города - влажная

Условия эксплуатации ограждающей конструкции - категория “Б”

3.2 Расчет приточно-вытяжной системы вентиляции откормочного цеха свиного комплекса

Проведенные нами исследования (см. разд. 2.2.) показали целесообразность применения механической приточно-вытяжной системы вентиляции [45]. При расчете этой системы вентиляции использовались данные из справочных материалов и рекомендаций по зоогигиеническим нормам при проектировании животноводческих объектов [22, 59, 95].

Для расчетов вентиляции животноводческого помещения необходимы следующие данные: существующий или проектный объем помещения, количество животных в помещении, их живая масса, возраст, физиологическое состояние, продуктивность, нормативные показатели основных параметров микроклимата помещения, температура, относительная и абсолютная влажности, а также эти показатели атмосферного воздуха [70, 99].

Вентиляция помещений производится с целью создания благоприятного микроклимата для здоровья и продуктивности животных, а также для сохранения строительных материалов и конструкций зданий.

В плохо вентилируемых помещениях у животных более часто возникают незаразные и заразные заболевания, что бывает связано с большими непроизводительными потерями для хозяйств.

В животноводческих помещениях применяют разные по принципу действия и конструктивным особенностям вентиляционные системы: с естественным побуждением тяги воздуха, с механическим побуждением тяги, комбинированные.

Для разработки механической приточно-вытяжной системы необходимо провести расчет требуемой производительности системы с учетом вредных поступлений в производственное помещение в виде тепла, влаги, вредных газовых поступлений по рекомендуемым для животноводческих помещений уравнениям.

3.2.1 Расчет требуемого воздухообмена для удаления вредных поступлений

В основном помещении свинарника-откормочника содержится 70 голов свиней по 100 кг живой массы.

1. Часовой объем вентиляции (L_{CO_2}) по накоплению углекислого газа находим по формуле:

$$L_{CO_2} = \frac{K}{C_1 - C_2}, \quad (3.1)$$

где K - количество углекислого газа, выделяемое всеми животными за час, л/ч; C_1 - допустимое количество углекислого газа в 1 м^3 воздуха помещения – $2,5\text{ л/м}^3$ (или 0,25%); C_2 - количество углекислого газа в 1 м^3 атмосферного воздуха – $0,3\text{ л/м}^3$ (или 0,03%).

Объем вентиляции, рассчитанный по содержанию углекислого газа, в большинстве случаев оказывается недостаточным для удаления образующихся в помещении водяных паров.

$$L_{CO_2} = \frac{70 \cdot 43,7}{2,5 - 0,3} = \frac{3059}{2,2} = 1390\text{ м}^3/\text{ч}$$

2. Определяем часовой объем вентиляции (L_w) по влажности воздуха:

$$L_w = \frac{W}{q_1 - q_2}, \quad (3.2)$$

где W - количество водяных паров, которое выделяют находящиеся в помещении животные с учетом влаги испаряющейся с поверхности пола, кормушек, поилок, стен и других ограждений в час, г/ч; q_1 - абсолютная влажность воздуха помещений, г/м^3 , при которой относительная влажность остается в пределах норматива; q_2 - средняя абсолютная влажность наружного воздуха, г/м^3 , вводимого в помещение в переходный период (ноябрь и март) по данной климатической зоне.

Вначале находим поступление водяных паров от животных (по табличным данным "Нормы выделения тепла, углекислого газа и водяных паров сельскохозяйственными животными и птицами").

Испарение влаги с ограждающих конструкций при удовлетворительном санитарном режиме, исправно действующей канализации, регулярной уборке навоза в свиарнике-откормочнике составляет 30% (согласно справочным данным "Процентные надбавки к количеству влаги, выделяемой животными, на испарение воды с пола, кормушек, поилок, стен и перегородок"). Тогда количество водяных паров, поступающих в помещение, составит:

$$W = 152 \cdot 70 \cdot 1,3 = 13832 \text{ г/ч}$$

В свиарнике-откормочнике температура воздуха 18 °С и относительная влажность 60 %. Для расчета абсолютной влажности (q_1) (по табличным данным "Максимальная упругость водяного пара в мм ртутного столба ") находим, что максимальная влажность воздуха при температуре 18°С составляет 16,36. Следовательно, этой влажности соответствует 100%-ная относительная влажность, а в помещении относительная влажность должна быть 60%. Тогда:

$$q_1 = \frac{16,36 \cdot 60}{100} = 9,816 \text{ г/м}^3$$

Значение q_2 берем из справочных данных "Средние показатели температуры и абсолютной влажности в различных пунктах Российской Федерации". Абсолютная влажность наружного воздуха в Белгороде в ноябре 4,2 г/м³, в марте - 3,8 г/м³. Следовательно:

$$q_2 = \frac{4,2 + 3,8}{2} = 4 \text{ г/м}^3$$

Полученные данные подставим в формулу (3.2):

$$L_w = \frac{13832}{9,816 - 4} = 2378 \text{ м}^3/\text{ч}$$

3. Определяем часовой объем вентиляции (L_Q) по избыткам теплоты:

$$L_Q = L_{w,s} + \frac{3,6Q_{h,f} - \rho_6 L_{w,z} (I_{w,z} - I_{in})}{\rho_6 (I_l - I_{in})}, \quad (3.3)$$

где $L_{w,z}$ – расход воздуха, удаляемого из рабочей зоны местными отсосами общеобменной вентиляцией и на технологические нужды, м³/ч; $Q_{h,f}$ – избыточный тепловой поток в помещении, Вт; $I_{w,z}$ – удельная энтальпия воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны системами местных отсосов, на

технологические нужды, кДж/кг; I_{in} – удельная энтальпия воздуха, подаваемого в помещение, кДж/кг; I_l – удельная энтальпия воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, кДж/кг.

По значениям тепло-влажностных избытков рассчитываем луч процесса, кДж/кг.вл:

$$\varepsilon = \frac{3,6 \cdot Q_n}{W}, \quad (3.4)$$

$$\varepsilon = \frac{3,6 \cdot 367 \cdot 70}{13,832} = 6686 \text{ кДж/кг.вл}$$

Используя I-d - диаграмму, проводим луч процесса и находим значения удельной энтальпии воздуха I_l , I_{in} и рассчитываем производительность системы вентиляции по избыткам полной теплоты.

$$L_Q = \frac{3,6 \cdot 367 \cdot 70}{1,2 \cdot (50 - 31)} = 4056 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Вредности, выделяемые животными, представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Выделение животными водяных паров, углекислоты и свободного тепла

Группы животных, живая масса (ж.м)	Кол-во голов	Водяные пары, г/ч		Углекислота, л/ч		Теплота, Вт (ккал/ч)	
		На 1 ж-е	На поголовье	На 1 ж-е	На поголовье	На 1 ж-е	На поголовье
Взрослые свиньи на откорме, ж.м 100 кг	70	152	10640	43,7	3059	367 (317)	25690 (22190)
Итого:	70	-	10640	-	3059	-	25690 (22190)

Рассчитанный воздухообмен по выделяемым вредностям представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Производительность системы вентиляции

№ п/п	Помещение	Объем помещения V, м ³	Расход воздуха L, м ³ /ч		
			По влаговыведениям	По СО ₂	По теплоте
1	Корпус откорма	3600	2378	1390	4056

За расчетный воздухообмен принимаем наибольший из рассчитанных воздухообменов ($L = L_Q = 4056 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Определение кратности воздухообмена в помещении выполняем по формуле:

$$Kp = \frac{L}{V} = \frac{4056}{3600} \approx 1,1 \text{ ч}^{-1}, \quad (3.5)$$

Определяем объем вентиляции на 1 ц живой массы:

$$L_1 = \frac{L}{m}, \quad (3.6)$$

где L_1 - объем вентиляции на 1 ц живой массы, $\text{м}^3/\text{ч}$; L - часовой объем вентиляции, $\text{м}^3/\text{ч}$; m - живая масса животных, ц.

$$V_1 = \frac{4056}{70} = 58 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расчет механической приточно-вытяжной системы вентиляции.

Установив в помещении места размещения приточных и вытяжных решеток, необходимо предварительно определить количество и сечения каналов, подведенных к этим решеткам. Общую площадь сечения вытяжных каналов S_1 , обеспечивающих расчетный воздухообмен, определяем по формуле:

$$S_1 = \frac{L}{v \cdot 3600}, \quad (3.7)$$

где v - рекомендуемая скорость движения воздушных потоков в каналах и живом сечении решеток, равная 1,5-3 м/с.

$$S_1 = \frac{4056}{1,5 \cdot 3600} = 0,75 \text{ м}^2$$

Количество вытяжных каналов (n_1) определяем по следующей формуле:

$$n_1 = \frac{S_1}{s_1}, \quad (3.8)$$

где s_1 - площадь сечения одного вытяжного канала, м^2 . Для системы приточно-вытяжной вентиляции площадь сечения одного вытяжного канала равна $0,0254 \text{ м}^2$ ($\frac{3,14 \cdot 0,18^2}{4}$), тогда количество вытяжных каналов будет 30 шт.

Площадь приточных каналов (S_2) составляет 60 - 70 % от общей площади вытяжных шахт:

$$S_2 = S_1 \cdot 0,7 = 0,75 \cdot 0,7 = 0,525 \text{ м}^2. \quad (3.9)$$

Рассчитываем количество приточных каналов (n_2) по следующей формуле:

$$n_2 = \frac{S_2}{s_2}, \quad (3.10)$$

где s_2 - площадь сечения одного приточного канала, м². Для системы приточно-вытяжной вентиляции площадь сечения одного приточного канала равна $0,0202 \text{ м}^2 \left(\frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} \right)$, тогда количество приточных каналов будет 26 шт.

3.2.2 Расчет теплового баланса животноводческих помещений

Для создания оптимального температурно-влажностного режима в помещениях необходим значительный обмен воздуха. Оптимизировать воздухообмен и параметры микроклимата в животноводческих помещениях позволяет расчёт теплового баланса. Данный расчет проводим по формуле:

$$Q_{жив} = Q_{вен} + Q_{исп} + Q_{о.зд}, \quad (3.11)$$

где $Q_{жив}$ - количество теплоты, поступающего в помещение от животных, Вт; $Q_{вен}$ - количество теплоты, расходуемое на нагревание вентиляционного воздуха, Вт; $Q_{исп}$ - количество теплоты, необходимое на испарение влаги с пола, кормушек, оборудования здания, Вт; $Q_{о.зд}$ - количество теплоты, которое теряется через ограждающие конструкции здания в наружную атмосферу, Вт.

Количество теплоты, поступающего в помещение от животных;

$$Q_{жив} = 317 \cdot 70 = 22190 \text{ ккал/ч} = 25690 \text{ Вт.}$$

Рассчитываем количество теплоты, идущей на обогревание вентиляционного (наружного) воздуха:

$$Q_{вен} = 0,24 \cdot G \cdot \Delta t, \quad (3.12)$$

где 0,24 - коэффициент удельной теплоёмкости воздуха, ккал/кг·град; G - количество воздуха, удаляемого из помещения вентиляцией или поступающего в него в течение часа, кг/ч; Δt - разность между температурой воздуха внутри помещения и температурой наружного воздуха, °С.

Массовый расход воздуха равен $G = 4056 \cdot 1,2 = 4867 \text{ кг/ч}$. Следовательно:

$$Q_{вен} = 0,24 \cdot 4867 \cdot (18 - (-24)) = 49\ 059 \text{ ккал/ч} = 57\ 056 \text{ Вт.}$$

Расчет расхода теплоты на испарение влаги с поверхности пола и других ограждений ($Q_{исп}$) производим путем умножения количества испаряющейся с пола и других ограждений влаги на 0,595 ккал, т.е. на количество теплоты в ккал, расходуемое на испарение 1 г влаги.

$$Q_{исп} = 3192 \cdot 0,595 = 1899 \text{ ккал/ч} = 2209 \text{ Вт.}$$

Расчет теплопотерь через ограждающие конструкции здания проводим по формуле:

$$Q_{о.зд} = k \cdot F \cdot \Delta t, \quad (3.13)$$

где k - коэффициент общей теплопередачи для каждой ограждающей конструкции, ккал/ч·м²·°С; F - площадь ограждающей конструкции, м²; Δt - разность между температурой воздуха внутри помещения и температурой наружного воздуха, °С.

Теплопотери через ограждающие элементы здания определяем дифференцированно (стены, окна, ворота и двери, полы, чердачные или совмещенные перекрытия), так как их площадь и коэффициенты теплопередачи разные.

Расчетная зона - Белгородская область. Размеры свинарника: длина свинарника 60 м, ширина 12 м, высота продольных стен 4 м, высота поперечных стен - $(6+4)/2 = 5$ м. Стены - кирпичные, толщиной 525 мм. Полы бетонные. Перекрытие - деревянный настил с рулонной кровлей и утеплителем-пенобетоном, толщина утеплителя 120 мм.

Рассчитываем площадь ограждающих конструкций (F) для:

$$\text{ворот: } (1,8 \cdot 2,5) = 4,5 \text{ м}^2;$$

$$\text{дверей: } (1,2 \cdot 2,1) = 2,5 \text{ м}^2;$$

$$\text{продольных стен: } (60 \cdot 4 \cdot 2) = 480 \text{ м}^2;$$

$$\text{торцовых стен: } (12 \cdot 5 \cdot 2) = 120 \text{ м}^2;$$

$$\text{общая площадь стен по наружному периметру: } 480 + 120 = 600 \text{ м}^2;$$

$$\text{площадь стен без окон, ворот, дверей составляет: } 600 - 4,5 - 2,5 = 597 \text{ м}^2.$$

В зависимости от расположения по отношению к наружным стенам площадь пола делится на зоны с различными коэффициентами теплопередачи.

Условно делим на 4 зоны: первая зона на расстоянии до 2 м, вторая - от 2 до 4 м, третья - от 4 до 6 м, четвертая - остальная площадь.

$$1\text{-я зона: } 60 \cdot 2 \cdot 2 + 12 \cdot 2 \cdot 2 = 288 \text{ м}^2;$$

$$2\text{-я зона: } (60 - 4) \cdot 2 \cdot 2 + (12 - 4) \cdot 2 \cdot 2 = 256 \text{ м}^2;$$

$$3\text{-я зона: } (60 - 8) \cdot 2 \cdot 2 + (12 - 8) \cdot 2 \cdot 2 = 224 \text{ м}^2.$$

Находим коэффициенты общей теплопередачи для каждого вида ограждающих конструкций и рассчитываем теплотери через ограждающие конструкции. Для удобства расчетов результаты сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Расчёт теплотерь через ограждающие конструкции

Наименование конструкций	F, м ²	K, Вт/м ² ·°C (ккал/ч·м ² ·°C)	Δt, °C	Общие теплотери, Вт
Стены	597	1,17 (1,01)	42	29337
Ворота	4,5	2,33 (2)	42	440
Двери	2,5	4,65 (4)	42	488
Покрытие	758	0,97 (0,83)	42	30881
Полы: 1-я зона	288	0,46 (0,4)	42	5564
2-я зона	256	0,23 (0,2)	42	2473
3-я зона	224	0,115 (0,1)	42	1082
Итого:	-	-	-	70265

Суммируем все теплотери в помещении: на обогрев вентиляционного воздуха, испарение влаги с поверхности пола и ограждающих конструкций, обогрев ограждающих конструкций. Подставляем полученные данные в формулу теплового баланса помещения (3.11):

$$25\ 690 - (57\ 056 + 2209 + 70\ 265) = -103\ 840 \text{ Вт}$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что тепловой баланс в свинарнике отрицательный. Следовательно, температура будет ниже нормативной, а влажность выше нормы. Дефицит (*D*) составляет 103 840 Вт.

При расчете теплового баланса свиноводческого комплекса нужно определить разницу между температурой воздуха в помещении и температурой наружного воздуха, при которой приход тепла в помещение будет равен его расходу, т.е. при какой предельно низкой температуре наружного воздуха

возможна работа вентиляции без подогрева воздуха. Определяем это расчётом Z нулевого теплового баланса, используя формулу:

$$Z_{н.б.} = \frac{Q_{жив} - Q_{исп}}{0,24G + \sum KF}, \quad (3.14)$$

$$Z_{н.б.} = \frac{22190 - 1899}{0,24 \cdot 4867 + 1439,91} = 7,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчёт показал, что для непрерывной работы вентиляции разница между температурой воздуха в центре свинарника и температурой наружного воздуха, не должна превышать $7,8 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Сохранение нормального температурно-влажностного режима в помещении возможно при использовании рекуперации тепла, а также при применении предварительной подготовки воздуха, нагревая его в холодный период года и охлаждая в теплый период.

При разработке приточно-вытяжной системы вентиляции необходимо учитывать распределение вредных газовых поступлений по объему помещения в зависимости от их количества, химического состава, плотности. Поэтому следующей задачей является определение количественного соотношения воздуха, удаляемого из нижней и верхней зоны производственного цеха.

3.3 Обоснование и выбор способов организации воздухообмена на основе математического моделирования для различных периодов года

На основании проведенных расчетов производительности системы вентиляции по избыткам тепла, влаги и по содержанию углекислого газа в помещении, рассмотрены способы организации воздухообмена на свиноводческом комплексе. На примере корпуса откорма на 70 голов, живой массой по 100 кг, показаны способы организации механической приточно-вытяжной системы вентиляции.

С учетом концентраций и свойств вредных газов установлено, что выделяющиеся в помещении вредные вещества (аммиак, сероводород и углекислый газ) стратифицируются в зависимости от их плотностей.

Сероводород ($\rho=1,57$ кг/м³) и углекислый газ ($\rho=1,988$ кг/м³) концентрируются в нижней части помещения, а аммиак ($\rho=0,77$ кг/м³) и избытки теплоты концентрируются в верхней части корпуса, так как плотность воздуха при нормальных условиях составляет 1,29 кг/м³.

Удаление выделяющихся вредных газов тяжелее воздуха обычно производится из нижней зоны помещения. Также известно, что в тех случаях, когда воздух загрязняется одновременно смесью газов и паров, один из которых легче, а другие – тяжелее воздуха, необходимо организовывать вытяжку из верхней и нижней зон одновременно [25, 83, 101].

Для визуализации процесса подачи и распределения воздуха в программе SolidWorks была построена модель воздушных потоков при работе приточно-вытяжной системы вентиляции для холодного, переходного и теплого периодов года. Было произведено моделирование распределения скоростей и температур воздушных потоков при различных соотношениях расходов вытяжного воздуха из верхней и нижней зон помещения. Рассмотрены следующие случаи:

- 1) удаление 20% объема воздуха из нижней зоны и 80% сверху;
- 2) удаление 30% объема воздуха из нижней зоны и 70% сверху;
- 3) удаление 40% объема воздуха из нижней зоны и 60% сверху;
- 4) удаление 50% объема воздуха из нижней зоны и 50% сверху.

При проведении ряда математических моделирований были учтены теплопоступления от свиней, теплопоступления за счет солнечной радиации в теплый период, а также теплопотери через наружные ограждающие конструкции для холодного и переходного периодов года.

На рисунке 3.2 представлена модель помещения для содержания животных, в которой на продольных стенках расположены вытяжные отверстия, а приток воздуха осуществляется сверху в середину помещения.

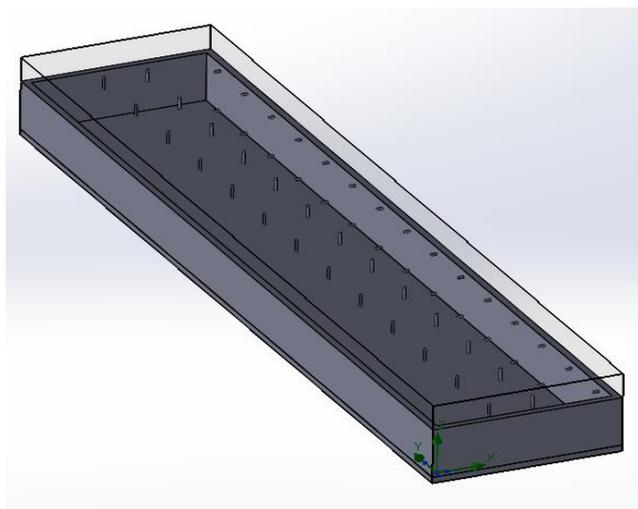


Рисунок 3.2 – Модель помещения содержания животных

По результатам моделирования была получена зависимость температуры получившегося внутреннего воздуха в помещении от способа удаления вытяжного воздуха для всех периодов года, представленная на рисунке 3.3.

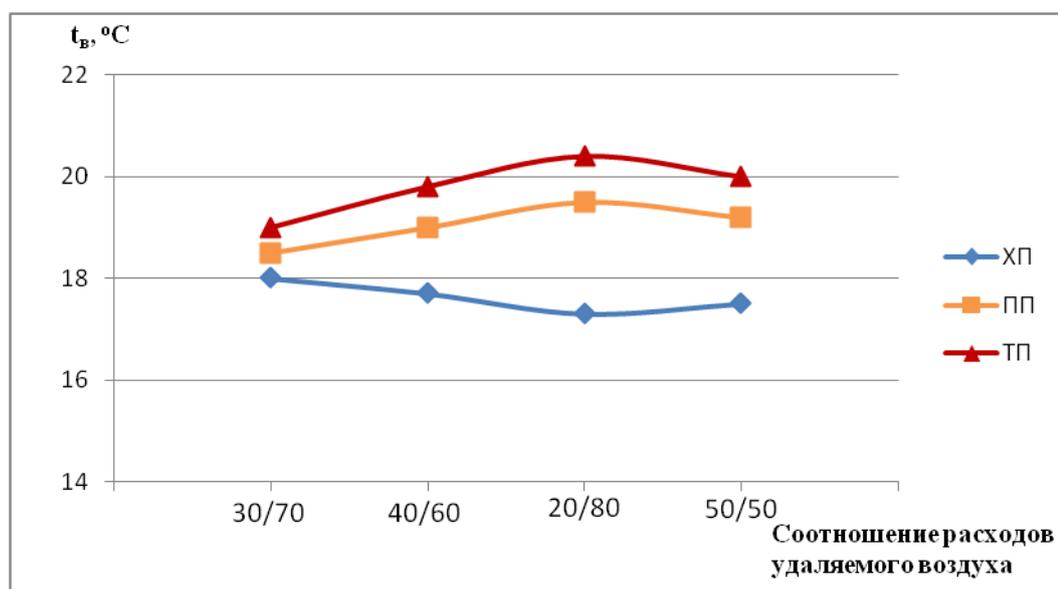


Рисунок 3.3 – Зависимость температуры внутреннего воздуха в помещении от соотношения расходов удаляемого воздуха из нижней и верхней зоны соответственно

Из полученной зависимости видно, что при использовании схемы вентиляции с удалением 30% воздуха снизу и 70% из верхней части помещения, достигается наилучшее распределение температур внутреннего воздуха для всех периодов года. Помимо этого, данная схема вентиляции позволит удалять

избыточную теплоту из верхней зоны и предотвратит образование застойных зон вредных газов в нижней части помещения.

Распределение температур и скоростей воздушных потоков при использовании такого способа организации воздухообмена в холодный период года представлено на рисунке 3.4.

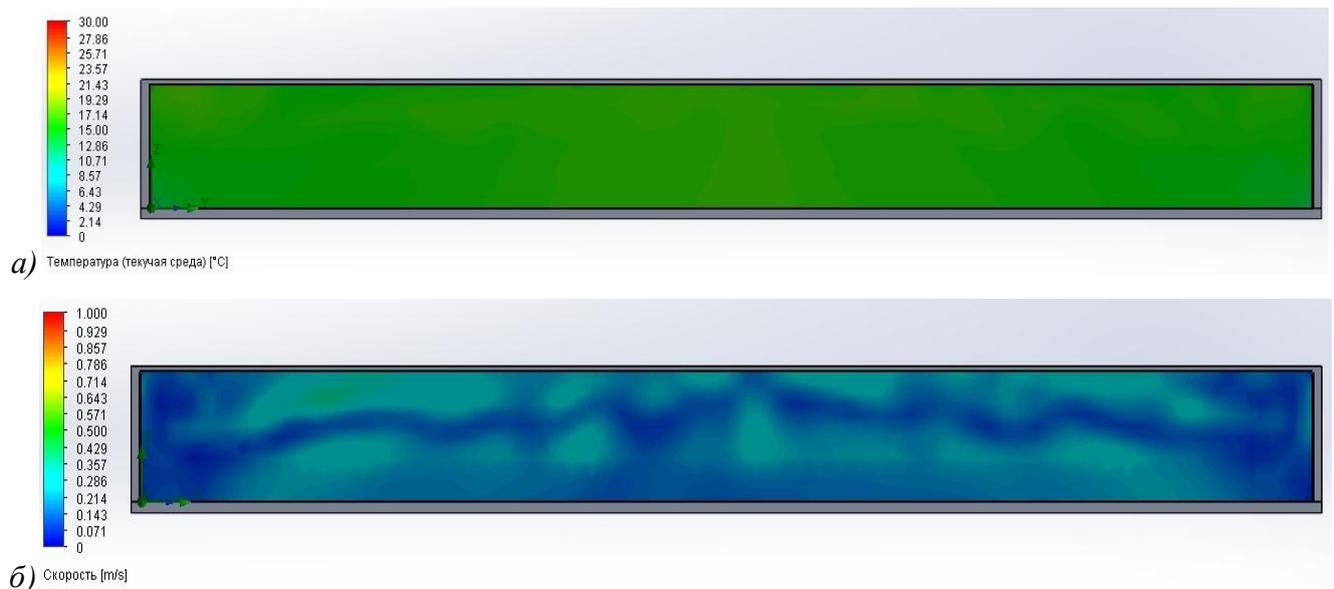


Рисунок 3.4 – Распределение температур (а) и скоростей (б) воздушных потоков в холодный период года

В данном случае достигается равномерное распределение температур по всему объему помещения. Среднее значение температуры внутреннего воздуха в помещении составляет $t_g \approx 18$ °С. Скорости движения воздушных потоков также распределены равномерно по всему объему свиноводческого комплекса. Подвижность воздуха находится в диапазоне от 0,1 до 0,4 м/с.

На рисунке 3.5 представлено распределение температур и скоростей воздушных потоков для переходного периода года, когда температура наружного воздуха составляет $t_n = 0$ °С. В связи с тем, что в данный период года теплопотери через наружные ограждающие конструкции меньше, чем в холодный период, то с целью обеспечения нормативных параметров температуры внутреннего воздуха в помещении, температура приточного воздуха была снижена и составила $t_n = 18$ °С.

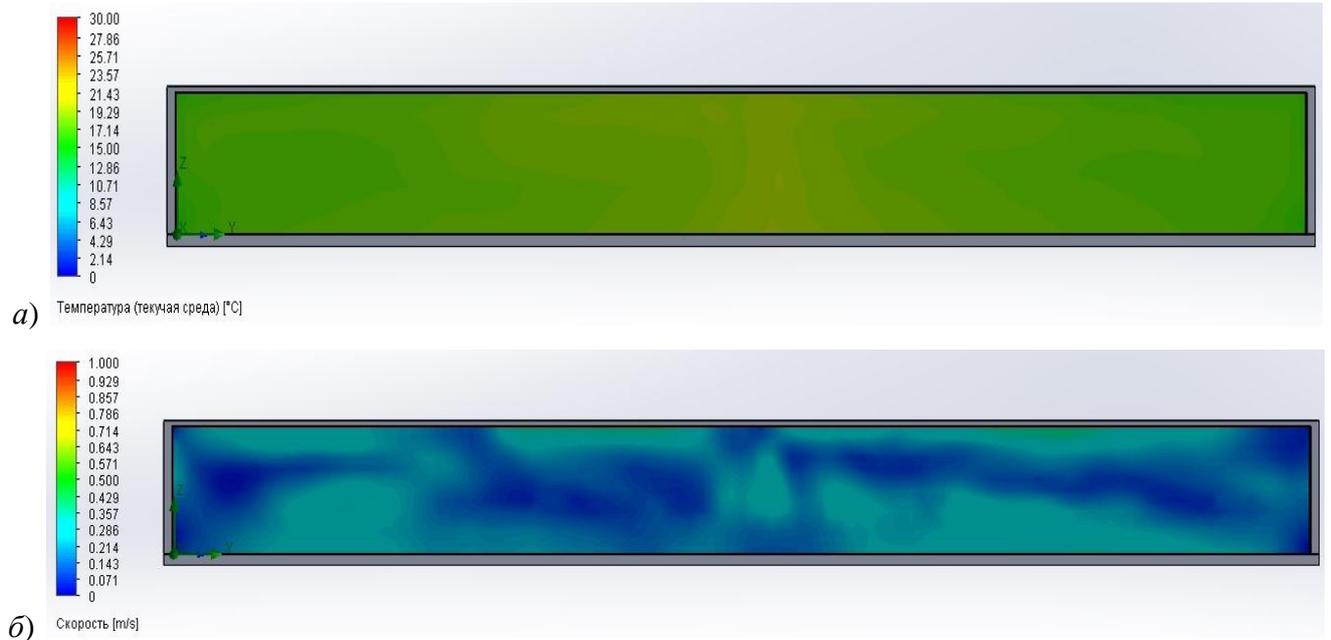


Рисунок 3.5 – Распределение температур (а) и скоростей (б) воздушных потоков в переходный период года

В результате было получено среднее значение температуры внутреннего воздуха в помещении $t_g \approx 18,5$ °С. Скорости движения воздушных потоков лежат в диапазоне от 0,1 до 0,3 м/с.

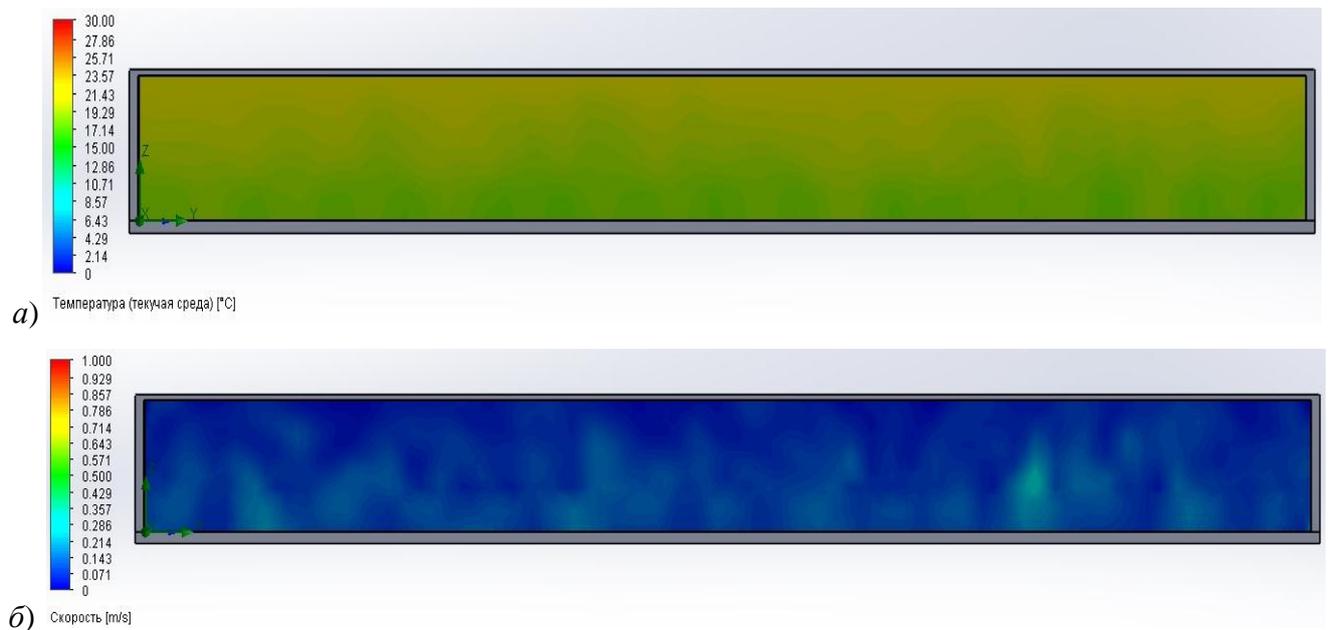


Рисунок 3.6 – Распределение температур (а) и скоростей (б) воздушных потоков в теплый период года

В теплый период года, кроме того, что отсутствуют теплопотери через наружные ограждающие конструкции, учитываются теплопоступления от солнечной радиации. Вследствие чего, как и в переходный период года, температура приточного воздуха была снижена до $t_n = 8$ °С. Распределение воздушных потоков представлено на рисунке 3.6.

Установлено, что среднее значение температуры внутреннего воздуха в помещении в теплый период года *составляет* $\approx 18-20$ °С, а скорости движения воздушных потоков – от 0,1 до 0,25 м/с.

Таким образом, организация предложенной системы вентиляции с удалением 70% объема воздуха из верхней части корпуса и 30% снизу обеспечит не только равномерное распределение температур и скоростей воздушных потоков в помещении содержания свиней, но и позволит производить удаление выделяемых вредных газов из зоны дыхания животных.

3.4 Разработка экспериментальной установки и проведение исследований

В разд. 2.2 представлена разработанная нами энергоэффективная система вентиляции, включающая в себя воздушный тепловой насос для подготовки наружного воздуха, а также тепло-массообменное устройство для утилизации тепла и влаги из удаляемого воздуха (патент на изобретение РФ № 2799158).

На основании теории подобия и результатов моделирования тепло-массообменных процессов разработана модельная установка (см. разд. 2.3.2).

3.4.1 Схема и описание модельной установки тепло-массообменного устройства (ТМУ)

Для исследования тепло-массообменных процессов и проверки представленных зависимостей разработана принципиальная схема экспериментального стенда (рисунок 3.7) и модели теплообменного устройства (рисунок 3.8) [43].

устройстве 4 приточный воздух нагревается за счет теплопередачи от удаляемого вытяжного воздуха и поступает в помещение через выпускной патрубок.

Вытяжной воздух удаляется из помещения через тангенциальный патрубок в теплообменник 4, где происходит охлаждение удаляемого воздуха и на стенках вытяжного воздуховода образуется конденсат с улавливанием паров аммиака. Образующийся на стенках конденсат, смешанный с парами аммиака, собирается в нижней части теплообменного устройства 4 и удаляется из конденсатоотводчика 5 в емкость для отвода конденсата 6.

Замеры необходимых параметров воздушных потоков производятся при помощи датчиков температуры/влажности 7 и анемометра 8. Полученные результаты замеров отображаются на панели сбора данных 9. Регулировка мощности вентиляторов для подачи и удаления воздуха осуществляется с помощью реостатов 10. Необходимые параметры приточного вытяжного воздуха могут быть созданы при помощи нагревателя 12 или охладителя воздуха 13.

На рисунке 3.9 представлено фото собранного экспериментального стенда, необходимого для исследования тепло-массообменных процессов в модельной рекуперативной установке.



Рисунок 3.9 – Фото экспериментального стенда для исследования работы теплообменного устройства

3.4.2 Экспериментальные исследования тепло-массообменных процессов в модельной установке

Основной целью экспериментальных исследований является получение зависимости интенсивности тепло-массообменных процессов от температуры приточного воздуха и скорости воздушных потоков в рекуператоре на основании проведенных замеров.

Для достижения поставленной цели были произведены исследования параметров приточного и вытяжного воздуха, поступающего и удаляемого из теплообменного устройства соответственно. Получены значения температуры на входе t_{ex} в теплообменник и выходе $t_{вых}$ из него, а также значения расходов G и скоростей движения воздушных потоков v в рекуператоре. Замеры были произведены при различных температурах наружного воздуха, равных -8, -5, 0 °С. Температура внутреннего воздуха составляла ≈ 23 °С.

При проведении расчетов теплообменного устройства следующие параметры оставались неизменными:

- внутренний диаметр наружного приточного воздуховода 0,3 м;
- внутренний диаметр внутреннего вытяжного воздуховода 0,2 м;
- длина поверхности теплообмена $l = 1$ м;
- толщина контактирующей стенки 0,003 м;
- коэффициент теплопроводности материала $\lambda = 51,9$ Вт/м·°С;
- площадь поверхности теплообмена $F = \pi \cdot d_{вн} \cdot l = 3,14 \cdot 0,2 \cdot 1 = 0,628$ м²;
- площадь живого сечения w , равная для внутренней трубы $w_{вн} = 0,031$ м² и для наружной $w_{нар} = 0,039$ м².

На основании полученных замеров был произведен расчет параметров воздушных потоков. Тепловой поток Q , необходимый для нагревания (охлаждения) одного теплоносителя за счёт охлаждения (нагревания) другого, определяется из уравнения теплового баланса.

$$Q_{np} = G_{np} \cdot c \cdot (t_{вых}^{np} - t_{ex}^{np}) \quad Q_{yd} = G_{yd} \cdot c \cdot (t_{ex}^{yd} - t_{вых}^{yd}), \quad (3.15)$$

где G_{np} и $G_{y\delta}$ – массовые расходы теплоносителей в приточном и вытяжном воздуховоде соответственно, кг/с; c – массовая теплоемкость теплоносителя, Дж/кг·К; t_{ex}^{np} и $t_{ex}^{y\delta}$ – температура воздуха на входе в приточный и вытяжной воздуховод соответственно, °С; $t_{вых}^{np}$ и $t_{вых}^{y\delta}$ – температура воздуха на выходе из приточного и вытяжного воздуховода соответственно, °С.

Интенсивность теплоотдачи определяется коэффициентом конвективной теплоотдачи α , который из уравнения Ньютона-Рихмана равен, Вт/(м²·°С):

$$\alpha_1 = \frac{Q_{np}}{F \cdot (t_{cm}^{np} - t_{cp}^{np})} \quad \alpha_2 = \frac{Q_{y\delta}}{F \cdot (t_{cm}^{y\delta} - t_{cp}^{y\delta})}, \quad (3.16)$$

где Q_{np} , $Q_{y\delta}$ – тепловой поток, Вт; F – площадь поверхности теплообмена, м²; t_{cm}^{np} , $t_{cm}^{y\delta}$ – температура поверхности, °С; t_{cp}^{np} , $t_{cp}^{y\delta}$ – температура теплоносителя, °С.

Средний температурный напор Δt_{cp} при противоточной схеме движения теплоносителей определяем по формуле (2.22), °С. А коэффициент теплопередачи через цилиндрическую стенку по формуле (2.24), Вт/(м·°С).

Расчетная тепловая нагрузка теплообменного аппарата равна, Вт:

$$Q_{расч} = \pi \cdot k \cdot l \cdot \Delta t_{cp}. \quad (3.17)$$

Число Рейнольдса для греющего и нагреваемого потоков:

$$Re = \frac{v \cdot d_э}{\nu}, \quad (3.18)$$

где $d_э$ – эквивалентный диаметр, м; ν – кинематическая вязкость, м²/с; v – скорость движения теплоносителя, м/с.

Критерий Прандтля рассчитываем по формуле:

$$Pr = \frac{v \cdot \rho \cdot c}{\lambda}, \quad (3.19)$$

где λ – коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/(м·К); ρ – плотность теплоносителя, кг/м³.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.4. Замеры параметров температуры, расхода и скорости воздушных потоков производились несколько раз с интервалом 5 мин. В таблице представлены их средние значения по итогам всех замеров.

Таблица 3.4 – Результаты расчета параметров воздушных потоков

№п/п		Диаметр d	$dэ$	Расход воздуха G	Скорость воздуха в теплообменнике v	Температура на входе $t_{вх}$	Температура на выходе $t_{вых}$	Температура напорная $t_{нп}$	Температура стенки $t_{ст}$	Тепловой поток $Q_{пр}$ ($Q_{уд}$)	Экспериментальные значения α_1 (α_2)	К-т теплопередачи	Тепловая нагрузка $Q_{расч}$	Число Рейнольдса Re	Число Прандтля для воздуха Pr	Расч. значения α_1 (α_2)
		м				°С	°С	°С	°С							
1	прит	0,3	0,1	0,09	1,74	-8,0	-3,1	26,6	7,2	443	55,32	5,34	446	13536	0,7092	55,67
	выт	0,2	0,2	0,09	2,39	23,5	18,6			443	50,92			31719	0,7000	59,27
2	прит	0,3	0,1	0,07	1,36	-8,0	-1,9	25,4	7,9	429	53,15	5,41	432	10512	0,7090	45,56
	выт	0,2	0,2	0,07	1,85	23,5	17,4			429	54,41			24705	0,7002	48,49
3	прит	0,3	0,1	0,05	0,97	-8,0	-1,4	24,9	7,5	332	43,27	4,27	334	7504	0,7089	34,81
	выт	0,2	0,2	0,05	1,32	23,5	16,9			332	41,55			17657	0,7003	37,03
4	прит	0,3	0,1	0,09	1,76	-5,0	-0,8	24,0	8,4	380	53,51	5,07	382	13446	0,7082	55,78
	выт	0,2	0,2	0,09	2,39	23,2	19,0			380	47,59			31715	0,7000	59,34
5	прит	0,3	0,1	0,07	1,37	-5,0	0,2	23,0	9,4	366	49,34	5,10	368	10444	0,7081	45,64
	выт	0,2	0,2	0,07	1,86	23,2	18,0			366	51,97			24696	0,7002	48,56
6	прит	0,3	0,1	0,05	0,98	-5,0	0,7	22,5	8,8	286	41,63	4,08	288	7456	0,7080	34,87
	выт	0,2	0,2	0,05	1,32	23,2	17,5			286	39,46			17650	0,7003	37,07
7	прит	0,3	0,1	0,09	1,79	0,0	3,3	20,1	11	298	50,81	4,76	300	13293	0,7066	55,97
	выт	0,2	0,2	0,09	2,39	23,4	20,1			298	44,19			31668	0,7000	59,50
8	прит	0,3	0,1	0,07	1,39	0,0	4,2	19,2	11,9	295	47,99	4,93	297	10327	0,7065	45,79
	выт	0,2	0,2	0,07	1,86	23,4	19,2			295	50,01			24656	0,7000	48,69
9	прит	0,3	0,1	0,05	0,99	0,0	4,8	18,6	11,4	241	42,65	4,16	243	7371	0,7064	34,99
	выт	0,2	0,2	0,05	1,33	23,4	18,6			241	39,99			17624	0,7001	37,17

На основании полученных данных была построена зависимость коэффициента теплоотдачи для данного теплообменного устройства от температуры и режима обтекания теплоносителя, которая представлена на рисунке 3.10.

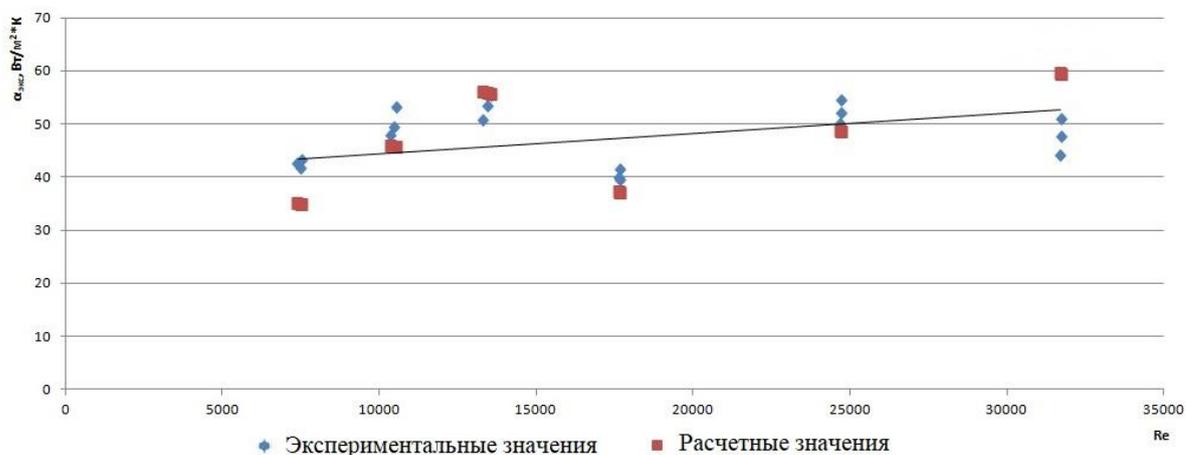


Рисунок 3.10 – График зависимости коэффициента теплоотдачи от числа Рейнольдса

Для описания тепло-массообменных процессов использованы уравнения (2.26) и (2.27). Нашей задачей являлось установить значения коэффициента A в данных уравнениях. На основании сравнения расчетных и экспериментальных значений коэффициента теплоотдачи предложены уравнения описания тепло-массообменных процессов для данного рекуперативного устройства:

$$\text{Nu}_{\text{yd}} = 0,131 \cdot \text{Re}_{\text{yd}}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{\text{yd}}^{0,43} \cdot (\text{Pr}_{\text{yd}} / \text{Pr}_{\text{cm.yd}})^{0,25}, \quad (3.20)$$

$$\text{Nu}_{\text{np}} = 0,134 \cdot \text{Re}_{\text{np}}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{\text{np}}^{0,43} \cdot (\text{Pr}_{\text{np}} / \text{Pr}_{\text{cm.np}})^{0,25} \cdot (d_{\text{np}} / d_{\text{n}}^{\text{cm}})^{0,18}. \quad (3.21)$$

В полученных уравнениях предложен коэффициент A , который составляет 0,131 и 0,134 вместо 0,021 и 0,017 в исходных уравнениях при турбулентном режиме для греющего и нагревающего теплоносителя соответственно. С учетом получившегося небольшого значения соотношения $(d_{\text{np}}/d_{\text{n}}^{\text{ct}})^{0,18}$, а также незначительной разницы коэффициентов A , предлагается использование уточненного уравнения описания ТМО процессов как со стороны греющего, так и нагреваемого теплоносителя:

$$\text{Nu} = 0,133 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} \cdot (\text{Pr} / \text{Pr}_{\text{cm}})^{0,25}. \quad (3.22)$$

Коэффициент A можно рассматривать как критерий, оценивающий влияние инерциальных сил на интенсивность тепло-массообменных процессов за счет тангенциального ввода теплоносителя. Предложенное уравнение позволяет рассчитать возможное количество утилизируемой теплоты в реальных условиях.

Для данного тепло-массообменного устройства по результатам эксперимента получены расчетные значения коэффициента теплоотдачи α в диапазоне изменения температуры приточного воздуха X_1 (-8, -5, 0 °С) и объемного расхода воздуха X_2 (от 140 до 250 м³/ч). Полученные данные описываются уравнением регрессии:

$$Y = 8,2734 - 0,0908X_1 + 0,1898X_2, \quad (3.23)$$

или

$$\alpha = 8,2734 - 0,0908 t + 0,1898 L, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \quad (3.24)$$

В результате чего было установлено, что увеличение t на 1 ед.изм. приводит к уменьшению α в среднем на 0,0908 ед.изм.; увеличение L на 1 ед.изм. приводит

к увеличению α в среднем на 0,1898 ед.изм. После была проверена статистическая значимость уравнения с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Проверка значимости параметров множественного уравнения регрессии показала статистическую значимость коэффициентов регрессии. Фактическое значение критерия Фишера $F > F_{кр}$, равного 5,1433, следовательно, коэффициент детерминации статистически значим и уравнение регрессии статистически надежно.

В реальных условиях изменение температуры наружного воздуха происходит в широком диапазоне, что может повлиять на стационарность процессов теплообмена в системе вентиляции. Для оценки уровня влияния внешних факторов на процесс теплообмена произведен расчет критерия Фурье, характеризующего соотношение между скоростью изменения тепловых условий в окружающей среде и скоростью перестройки поля температуры внутри рассматриваемой системы:

$$F_o = \frac{a \cdot \tau}{l^2}, \quad (3.25)$$

где $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$ – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – характерное время

изменения внешних условий, с; l – характерный размер тела, м.

В диапазоне температур от -24 °С до 20 °С за время $\tau = 3600$ с была получена зависимость изменения критерия Фурье от температуры наружного воздуха (рисунок 3.11) для теплообменной установки высотой $l=3,3$ м.

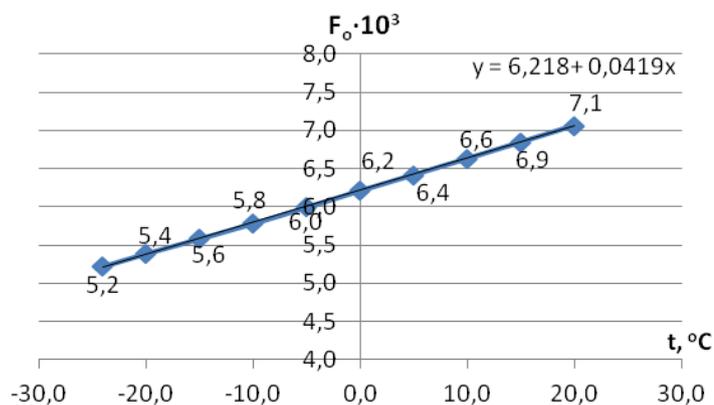


Рисунок 3.11 – График зависимости критерия Фурье от температуры наружного воздуха

Как видно из рисунка, температура наружного воздуха в широком диапазоне незначительно влияет на изменение критерия Фурье. Следовательно, процесс теплообмена имеет стационарный характер.

Применение данной тепло-массообменной установки планируется в реальной схеме вентиляции, но для начала необходимо установить количество установок. Их количество зависит от расхода воздуха, который способна пропустить одна установка, и может быть рассчитано по формуле:

$$N = L_{\text{макс}} / L_{\text{рек}} \quad , \quad (3.26)$$

где $L_{\text{макс}}$ – наибольший из расходов воздуха, рассчитанный по вредностям, м³/ч. Как показано в разделе 3.2 для корпуса откорма свиноводческого комплекса на 70 голов расход воздуха $L_{\text{макс}}$ составляет 4056 м³/ч;

$L_{\text{рек}}$ – расход воздуха, который проходит через один рекуператор, м³/ч. Для нашей натурной установки он будет равен произведению живого сечения трубопровода на скорость воздушного потока в этом сечении:

$$L_{\text{рек}} = w \cdot v. \quad (3.27)$$

Живое сечение натурной установки определяем для приточного и вытяжного воздуховода соответственно ($d_{\text{пр}} = 1$ м, $d_{\text{выт}} = 0,65$ м):

$$w_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{пр}}^2 - d_{\text{выт}}^2)}{4} = 0,4533 \text{ м}^2; \quad w_{\text{выт}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{выт}}^2}{4} = 0,3318 \text{ м}^2.$$

Значения скоростей в тепло-массообменном устройстве в натурной установке такие же, как и в экспериментальной установке. Расход воздуха равен:

$$L_{\text{рек}}^{\text{пр}} = 0,4533 \cdot 1,36 \cdot 3600 = 2220 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad L_{\text{рек}}^{\text{выт}} = 0,3318 \cdot 1,85 \cdot 3600 = 2210 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Таким образом, использование одной натурной установки обеспечит расход воздуха ≈ 2200 м³/ч, следовательно, в нашей системе вентиляции будет использовано $N = 4056/2200 \approx 2$ установки.

3.4.3 Экспериментальные исследования по улавливанию аммиака

В разработанной нами тепло-массообменной установке предусматривается улавливание газообразного аммиака из удаляемого воздуха. Загрязненный аммиаком воздух, попадая в ТМУ, при взаимодействии с конденсатом будет образовывать аммиачный раствор. В разделе 2.5 проведены теоретические исследования по улавливанию аммиака, которые показали, что благодаря высокой растворимости аммиака в воде большая часть газа будет растворяться, а следовательно, снизится и концентрация NH_3 в удаляемом из помещений воздухе. Чтобы проверить, какое количество аммиака мы можем уловить, были проведены экспериментальные исследования.

Основной задачей проведения экспериментальных исследований в ТМУ является определение количества улавливаемого аммиака, а также расчет концентрации получившегося на выходе аммиачного раствора. Это необходимо для подтверждения эффективности снижения концентрации аммиака в выбрасываемом в атмосферу воздухе (см. раздел 2.5).

Для проведения испытаний был приобретен раствор аммиака (10%). Данный раствор разбавляется водой с целью получения менее концентрированного раствора, и устанавливается на входе в тепло-массообменное устройство.

Далее производятся замеры концентрации аммиака на входе в рекуператор $C_{\text{NH}_3}^{\text{вх}}$ и на выходе из него $C_{\text{NH}_3}^{\text{вых}}$ при помощи газоанализатора СЕАН-П4. Концентрация аммиака в помещении до проведения испытаний составляла $C_{\text{NH}_3}^{\text{нач}} = 0 \sim 0,1$ мг/м³. Эксперименты проводились при скорости вращения вентилятора, равной $v = 1,75$ м/с. Тогда расход воздуха L будет равен:

$$L = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} \cdot 1,75 = 0,0137 \text{ м}^3/\text{с} = 0,825 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

На следующем этапе производится создание искусственного конденсата в тепло-массообменной установке путем разбрызгивания воды на внутреннюю стенку. Во время внесения воды в теплообменник, излишки воды, собирающиеся

в нижней части устройства, удаляются в отдельную емкость (выброс в стоки). После внесения конденсата устанавливается мерная емкость для сбора конденсата, смешанного с парами аммиака. И снова производятся замеры концентрации аммиака на входе в установку $C_{NH_3}^{вх}$ и на выходе из нее $C_{NH_3}^{вых}$.

На основании полученных данных произведен расчет значения концентрации аммиака, на которое снизилась концентрация NH_3 после прохождения загрязненного воздуха через ТМУ. Рассчитано количество аммиака, которое было уловлено и растворено в конденсате за время проведения эксперимента. В результате было получено значение массовой концентрации аммиака в получившемся аммиачном растворе.

Замеры концентрации аммиака и сбор аммиачной воды производились в течение 3 мин. Начальные значения концентрации аммиака находились в диапазоне от 35 до 78 мг/м³. На рисунке 3.12 представлено фото проведения экспериментальных исследований. Средние значения по результатам 5-ти измерений представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты экспериментальных исследований

№ п/п	Расход воздуха L , м ³ /мин	Начальные значения концентрации аммиака, мг/м ³		Конечные значения концентрации аммиака, мг/м ³		ΔC , мг/м ³	Кол-во уловленного аммиака за 3 мин, мг	Кол-во собранного конденсата, г	Массовая концентрация аммиака, %
		$C_{вх}$	$C_{вых}$	$C_{вх}$	$C_{вых}$				
1	0,825	78	75	78	50	28	69,27	22	0,31
2	0,825	40	37	40	24,5	15,5	38,35	35	0,11
3	0,825	58	57	58	41	17	42,06	32	0,13
4	0,825	35	33	35	22	14	34,64	35	0,10
5	0,825	70	68	70	43	27	66,80	27	0,25

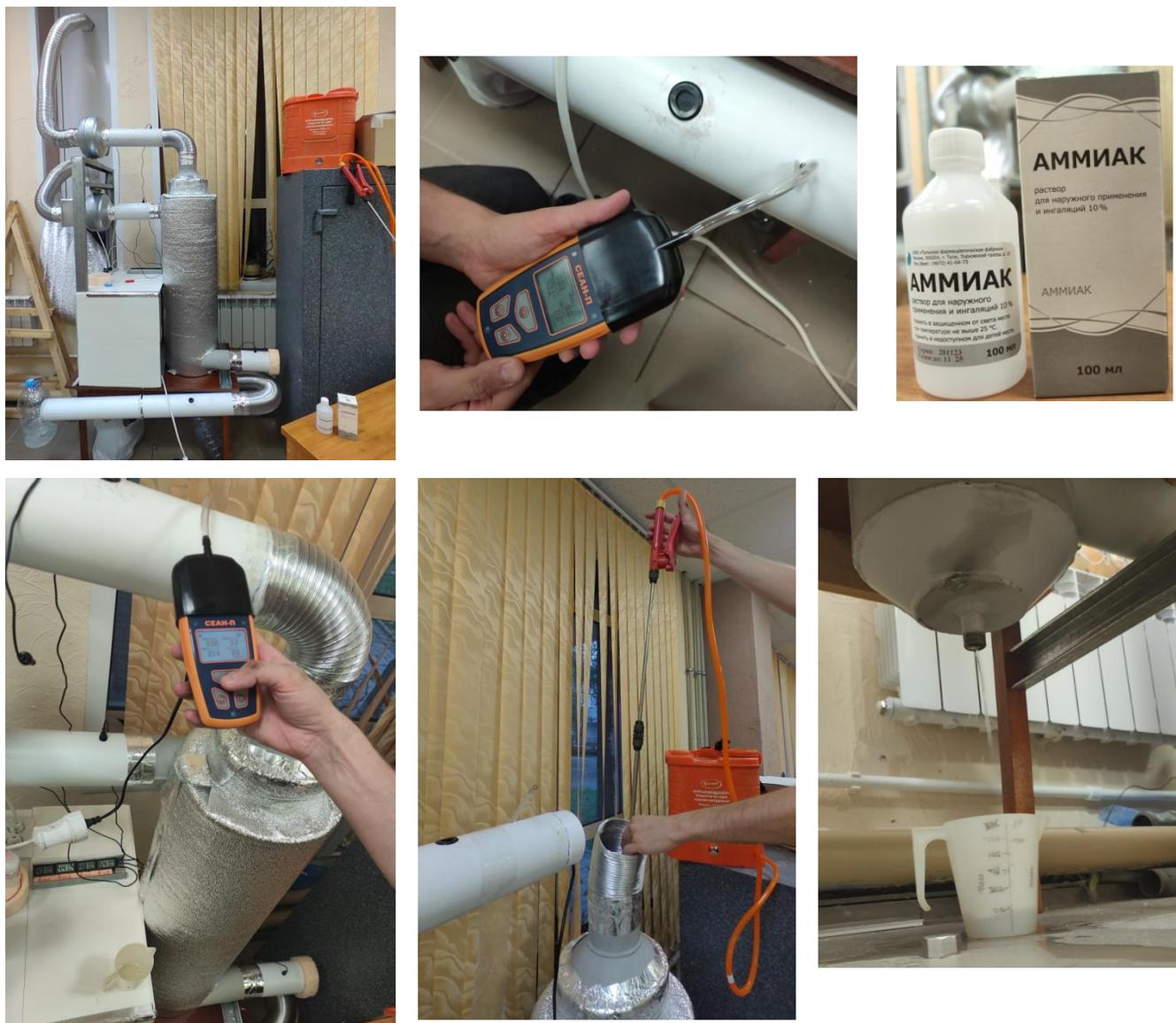


Рисунок 3.12 – Фото проведения экспериментальных исследований по улавливанию аммиака

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают хорошую растворимость аммиака при взаимодействии с водой, так как часть газа растворяется. Полученные по результатам исследования экспериментальные точки находятся в диапазоне результатов теоретических исследований, рассмотренных в разделе 2.5 (таблица 2.2 и рисунок 2.10), и соответствуют зависимости, описывающей влияние возраста и массы животного на концентрацию аммиака в аммиачном растворе. Экспериментальные точки нанесены на данную зависимость (рисунок 3.13) в соответствии с массой и возрастом животных, а также с учетом полученной в экспериментальных условиях концентрации аммиачного раствора.

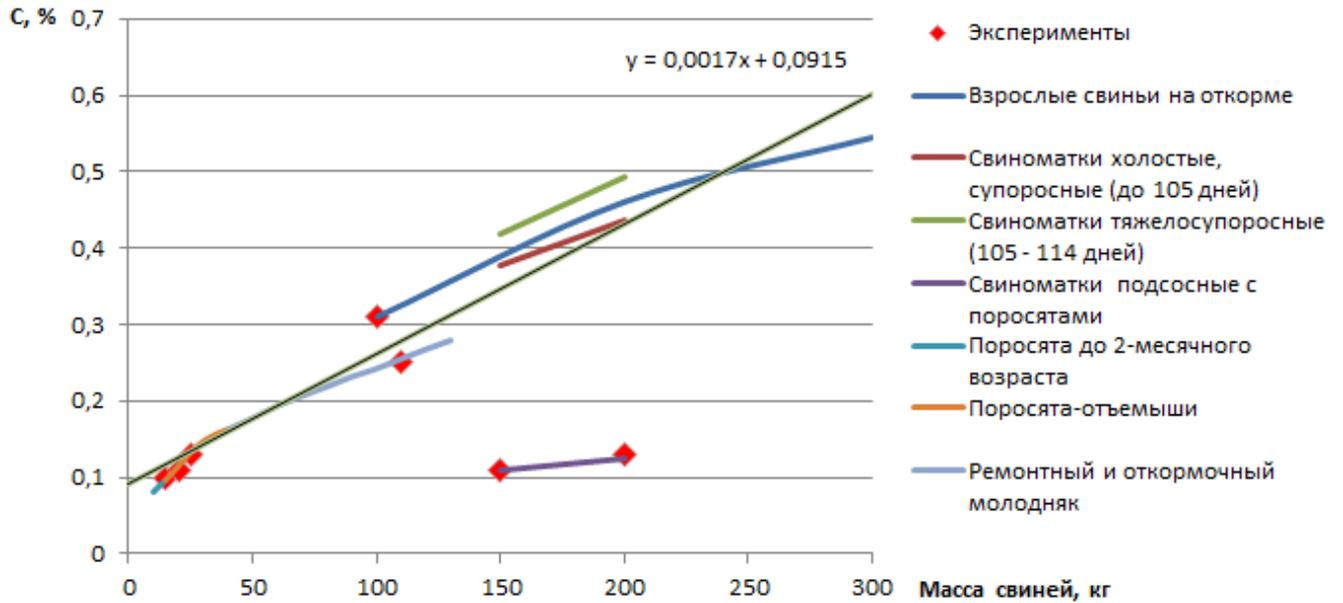


Рисунок 3.13 – Зависимость концентрации аммиачного раствора от живой массы животных с указанием экспериментальных точек

Далее оценим воспроизводимость проведенного эксперимента на основе полученных результатов. Имеется 5 различных замеров, которые равномерно продублированы (все опыты повторяются одинаковое количество раз). Для каждого опыта необходимо рассчитать:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum x_i}{n}; \quad s^2\{x_i\} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}_i)^2}{n-1}; \quad f_i = n-1, \quad (3.28)$$

где \bar{x}_i – среднее значение отклика, наблюдаемое в i -м опыте; $s^2\{x_i\}$ – дисперсия воспроизводимости, характеризующая степень разброса значений отклика в i -м опыте; f – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости.

В качестве величины x_i принимаем значения концентрации аммиака C_{ex} . Для удобства расчета дисперсий отклика в каждом из опытов и проверки воспроизводимости эксперимента занесем все данные в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты расчета дисперсии воспроизводимости

№ п/п	(x_i)	Среднее значение (\bar{x}_i)	($x_i - \bar{x}_i$)	($x_i - \bar{x}_i$) ²	Дисперсия воспроизводимости $s^2\{x_i\}$	Число степеней свободы f_i
1	78,00	78	0,00	0,00	0,065	4
	78,30		0,30	0,09		
	77,70		-0,30	0,09		
	77,80		-0,20	0,04		
	78,20		0,20	0,04		
2	39,40	40	-0,60	0,36	0,135	4
	40,40		0,40	0,16		
	40,00		0,00	0		
	40,10		0,10	0,01		
	40,10		0,10	0,01		
3	57,60	58	-0,40	0,16	0,075	4
	58,00		0,00	0		
	57,90		-0,10	0,01		
	58,30		0,30	0,09		
	58,20		0,20	0,04		
4	34,60	35	-0,40	0,16	0,085	4
	35,30		0,30	0,09		
	35,10		0,10	0,01		
	34,80		-0,20	0,04		
	35,20		0,20	0,04		
5	69,70	70	-0,30	0,09	0,185	4
	69,50		-0,50	0,25		
	70,20		0,20	0,04		
	70,00		0,00	0		
	70,60		0,60	0,36		

Для проверки однородности полученных пяти дисперсий применим критерий Фишера. Уровень значимости примем равным $\alpha = 0,05$.

Так как $F_{расч} = \frac{s_{max}^2}{s_{min}^2} = \frac{0,185}{0,065} = 2,85 < F_{табл} = F_{0,05; 4; 4} = 6,39$, то эксперимент на уровне

значимости $\alpha = 0,05$ следует признать воспроизводимым. Это означает, что во всех опытах параметр x_i (концентрация аммиака) наблюдается с одинаковой точностью.

Для количественной характеристики точности определения значений отклика рассчитаем дисперсию воспроизводимости как взвешенное среднее отдельных дисперсий:

$$s^2\{x\} = \frac{\sum s^2\{x_i\}}{n} = \frac{0,545}{5} = 0,109$$

Ее число степеней свободы равно $f_{воспр} = n \cdot (k - 1) = 5 \cdot (5 - 1) = 20$.

Следующим этапом необходимо выполнить аэродинамический расчет системы вентиляции.

3.5 Аэродинамический расчет разработанной системы вентиляции, подбор оборудования

Цель аэродинамического расчета системы механической вентиляции – это определение размеров сечений всех участков системы при заданных расходах воздуха через них, а также потерь давления на отдельных участках и в системе в целом. При расчете следует принимать нормируемые размеры круглых и прямоугольных воздуховодов, значения которых приведены в [88].

Потери давления на трение на участке сети воздуховодов длиной l определяем по формуле, Па:

$$\Delta P_{тр} = Rl . \quad (3.29)$$

Если воздуховоды изготовляют не стальными, а из другого материала с абсолютной шероховатостью K_3 , мм, отличающейся от шероховатости листовой стали ($K_3 = 0,1$ мм), то на величину R вводят поправку n [88].

Потери давления на местные сопротивления определяем по формуле, Па:

$$Z = \sum \xi \frac{v^2 \rho}{2} , \quad (3.30)$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке.

Расчет потерь давления на трение и местные сопротивления выполняется последовательно: вначале по участкам магистрального направления, затем по ответвлениям.

Полные потери давления в системе находим по формуле, Па:

$$\Delta P_n = \sum_{i=1}^N (\Delta P_{тр} + Z) + \sum \Delta P_{об} , \quad (3.31)$$

где i – номера участков магистрального направления; $\sum P_{об}$ – потеря давления в вентиляционном оборудовании, Па.

На рисунке 3.14 представлена аксонометрическая схема рассчитываемой приточно-вытяжной системы вентиляции. Результаты аэродинамического расчета вентиляционных систем представлены в приложении Б.

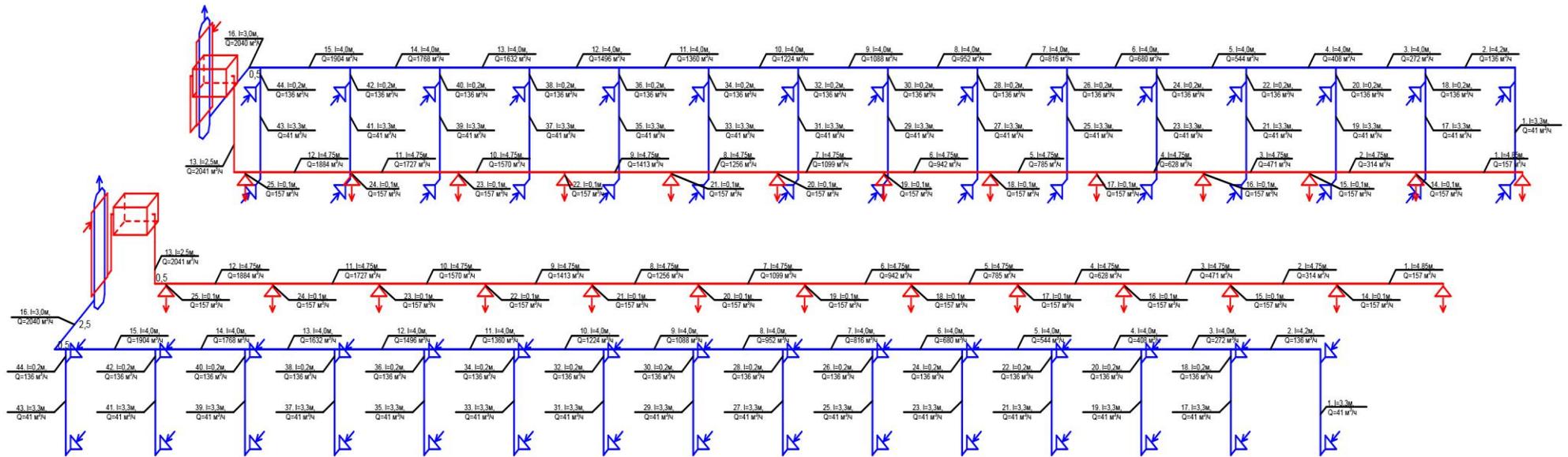


Рисунок 3.14 – Аксонометрическая схема системы вентиляции

Подбор вентиляционного оборудования. Радиальный (центробежный) вентилятор подбирают по известной производительности L , м³/ч, и полному давлению P , Па:

$$L_e = k \cdot L, \quad (3.32)$$

$$P = 1,1 \cdot \Delta P_n, \quad (3.33)$$

где L – общий расчетный расход воздуха в системе вентиляции, м³/ч; k – коэффициент, учитывающий подсосы или утечки воздуха в воздуховодах, для стальных, пластмассовых и асбестоцементных воздуховодов длиной до 50 м $k = 1,1$, в остальных случаях $k = 1,15$; ΔP_n – общие потери давления в системе, Па.

В связи с тем, что система вентиляции включает в себя тепло-массообменное устройство, то необходимо посчитать полные потери давления в рекуператоре, который определяем по уравнению, Па:

$$\Delta P_{PEK} = \Delta P_{CK} + \Delta P_{TP} + Z, \quad (3.34)$$

где ΔP_{CK} – потери давления на создание скорости потока на выходе из теплообменника, Па; ΔP_{TP} – потери давления на преодоление сопротивления трения, Па; Z – потери давления на преодоление местных сопротивлений, Па.

$$\Delta P_{CK} = \frac{v^2 \rho}{2}, \quad (3.35)$$

где v – скорость движения теплоносителя в аппарате, м/с.

$$\Delta P_{TP} = \frac{\lambda l}{d_{\text{эКВ}}} \cdot \frac{v^2 \rho}{2}, \quad (3.36)$$

где l – общая длина трубопроводов, м; $d_{\text{эКВ}}$ – эквивалентный диаметр, м; λ – коэффициент трения, зависящий от режима движения и от степени шероховатости стенок труб.

Потери давления во внешнем и внутреннем трубопроводе рекуператора составляют соответственно:

$$\Delta P_{PEK}^{\text{вн}} = \frac{1,3^2 \cdot 1,2}{2} + \frac{0,2 \cdot 3,3}{0,35} \cdot \frac{1,3^2 \cdot 1,2}{2} + 2,3 \cdot \frac{1,3^2 \cdot 1,2}{2} = 5,26 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{PEK}^{\text{вн}} = \frac{1,75^2 \cdot 1,2}{2} + \frac{0,2 \cdot 4,0}{0,65} \cdot \frac{1,75^2 \cdot 1,2}{2} + 1,8 \cdot \frac{1,75^2 \cdot 1,2}{2} = 6,62 \text{ Па}.$$

Произведем расчет полных потерь давления в системе вентиляции, Па:

$$\Delta P_n^{nрum} = 343,4 + 5,26 = 348,66 \text{ Па}; \quad \Delta P_n^{бum} = 343,3 + 6,62 = 349,92 \text{ Па}.$$

Тогда определим полное давление вентилятора и его производительность:

$$P = 1,1 \cdot 349 = 384 \text{ Па}; \quad L = 1,1 \cdot 2040 = 2244 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При подборе вентилятора необходимо, чтобы его КПД в рабочей точке составлял не менее 90% от максимального. Вентиляторы подбираем по сводному графику и индивидуальным характеристикам. Выбираем вентиляторы ВР-80-75-4 с частотой вращения 1450 об/мин.

Мощность на валу электродвигателя, кВт:

$$N = \frac{L \cdot P}{3600 \cdot \eta_e \cdot \eta_n \cdot 10^3}, \quad (3.37)$$

где η_e – КПД вентилятора в рабочей точке характеристики; η_n – КПД передачи.

$$N = \frac{2244 \cdot 384}{3600 \cdot 0,81 \cdot 0,98 \cdot 10^3} = 0,3 \text{ кВт}.$$

Установочная мощность электродвигателя, кВт:

$$N_y = K_z \cdot N_s, \quad (3.38)$$

где k_z – коэффициент запаса мощности.

$$N_y = 1,5 \cdot 0,3 = 0,45 \text{ кВт}.$$

Подбор теплового насоса. При расчете теплового баланса в разд. 3.2 был определен дефицит тепла в помещении животноводческого комплекса, который составил 103 840 Вт. Использование полученного нами уравнения (3.22) позволит рассчитать коэффициент теплоотдачи реальной установки. В разд. 3.4.2 установлено, что в системе обеспечения микроклимата свиноводческого комплекса используются 2 тепло-массообменных устройства. Тепловую нагрузку одной установки можно определить, используя алгоритм расчета, представленный на рисунке 3.15.

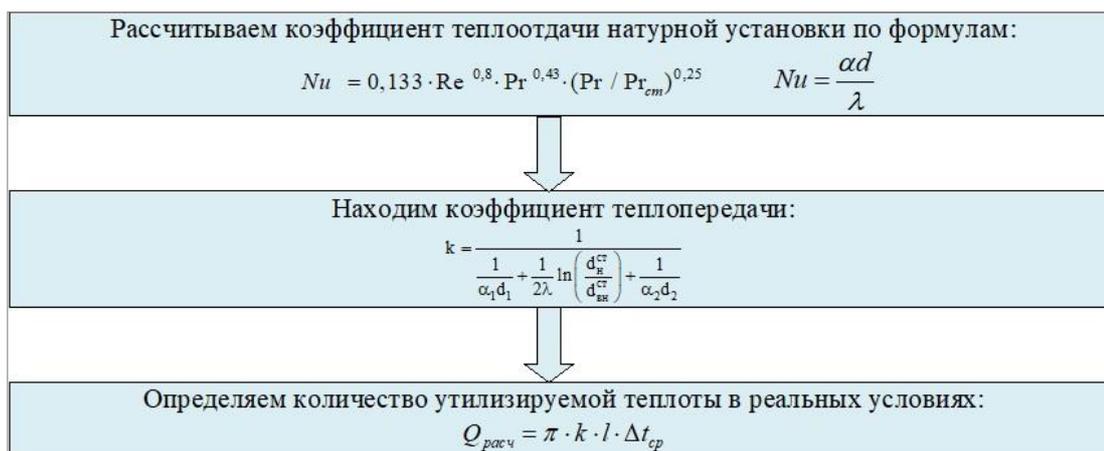


Рисунок 3.15 – Алгоритм расчета тепловой нагрузки одной установки

Проведя расчеты, согласно данному алгоритму, было получено, что тепловая нагрузка одной тепло-массообменной установки составляет ≈ 3200 Вт. Следовательно, требуемая теплопроизводительность подбираемых тепловых насосов должна составлять:

$$Q_n = 103,8 - 3,2 \cdot 2 = 97,4 \text{ кВт.}$$

Подбор теплового насоса производим по каталогу «SUNDUE». Технические характеристики предполагаемого теплового насоса представлены ниже.

Технические характеристики теплового насоса SDAR-1000:

Диапазон рабочих температур, °С.....	-30...+40
Мощность нагрева, кВт.....	55
С.О.Р	5,0
Потребление компрессорным агрегатом от сети 380\50, Вт	11,0
Мощность охлаждения, кВт	50
Потребление компрессорным агрегатом от сети 380\50, Вт	11,2
Хладагент	R22, R410
Тип компрессоров	Hitachi scroll EVI
Количество компрессоров	2
Габариты (LxDxh), мм.....	3600x1660x2100

С учетом представленных технических характеристик, а также учитывая теплопроизводительность $Q_n = 97,4$ кВт, подбираем 2 тепловых насоса SDAR-1000.

3.6 Выводы

1. Представлена характеристика объекта исследования. На примере корпуса откорма на 70 голов, живой массой по 100 кг, произведен расчет производительности системы вентиляции по избыткам влаги, теплоты и по содержанию углекислого газа в помещении. В дальнейших расчетах использовано наибольшее значение производительности по избыткам теплоты. Определено количество приточных и вытяжных каналов для каждой системы соответственно. Произведен расчет теплового баланса животноводческих помещений.

2. Рассмотрены способы организации воздухообмена на свиноводческом комплексе на основе математического моделирования для различных периодов года. Для визуализации процесса подачи и распределения воздуха в программе SolidWorks была построена модель воздушных потоков при работе приточно-вытяжной системы вентиляции для холодного, переходного и теплого периодов года при различных соотношениях расходов вытяжного воздуха из верхней и нижней зон помещения (20/80; 30/70; 40/60; 50/50).

Установлено, что при использовании схемы вентиляции с удалением 30% воздуха снизу и 70% из верхней части помещения, достигается наилучшее распределение температур внутреннего воздуха для всех периодов года. Помимо этого данная схема вентиляции позволит удалять избыточную теплоту из верхней зоны и предотвратит образование застойных зон вредных газов в нижней части помещения.

3. Проведена разработка модельной установки теплообменного устройства, используемого в системе вентиляции животноводческих помещений (патент на изобретение РФ № 2799158). Проведены экспериментальные исследования тепло-массообменных процессов в модельной установке. Произведены замеры параметров приточного и вытяжного воздуха, поступающего и удаляемого из теплообменного устройства соответственно, на основании которых рассчитаны коэффициенты теплоотдачи при различных температурах и режимах обтекания.

4. Проведены исследования тепло-массообменных процессов при

различных теплофизических и гидродинамических параметрах воздушных сред, на основании которых получено критериальное уравнение с уточненным коэффициентом для расчета процесса теплоотдачи в рекуператоре по типу «труба в трубе». Использование данного уравнения позволяет рассчитывать количество утилизируемой теплоты в системе вентиляции свиноводческих помещений.

5. Для данного тепло-массообменного устройства проведено двухфакторное планирование эксперимента для расчета коэффициента теплоотдачи в зависимости от температуры приточного воздуха (-8, -5, 0 °С) и объемного расхода воздуха (от 140 до 250 м³/ч). Получено уравнение множественной регрессии. Использование полученного уравнения позволит рассчитать количество уловленной теплоты в реальной установке.

6. Проведены экспериментальные исследования в ТМУ. Определено количество улавливаемого аммиака, а также рассчитаны концентрации аммиачного раствора на выходе из ТМУ. По результатам исследования, полученные экспериментальные значения концентраций раствора отображены на зависимости (полученной в разд. 2.5), описывающей влияние возраста и массы животного на концентрацию аммиака в аммиачном растворе. Экспериментальные точки находятся в диапазоне результатов теоретических исследований.

Проведена оценка воспроизводимости проведенного эксперимента на основе полученных результатов. Эксперимент на уровне значимости $\alpha = 0,05$ признан воспроизводимым. Установлено, что во всех опытах параметр x_i (концентрация аммиака) наблюдается с одинаковой точностью.

7. Произведен аэродинамический расчет приточной и вытяжной системы вентиляции, определено количество вентиляционных каналов для каждой системы соответственно. Установлено количество рекуперативных установок, способных обеспечить требуемый расход воздуха. Подобрано вентиляционное оборудование, в том числе и тепловой насос для подготовки приточного воздуха.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

4.1 Метод биоремедиации для снижения вредных поступлений в животноводческие помещения

Вредные выделения от навоза негативно влияют на здоровье человека, так как содержат не только аммиак и сероводород, но и спектр органических и химических соединений, вызывающих головные боли, интоксикацию, общее ухудшение самочувствия, снижающие защитные функции организма. Естественные микробиологические процессы начинают разрушать навоз с образованием летучих продуктов распада практически немедленно после дефекации животного. По санитарным нормам, прежде чем свежий свиной навоз перепреет и станет удобрением, его полагается выдержать в навозосборнике – лагуне, до трех с половиной лет. В процессе хранения навозные стоки выделяют в атмосферу сероводород, аммиак, газообразные продукты разложения навоза, распыленные в газообразной среде микроорганизмы [28].

В помещениях откорма с ваннами навозостоків практически невозможно получить высокую эффективность (до 95%) удаления дурнопахнущих веществ по ряду причин, к которым относятся:

- недостаточный уровень вентилирования, особенно в летний период с практическим отсутствием уноса летучих выделений над зеркалом ванн;
- высокие фоновые загрязнения из-за возврата газовых выбросов с крыш обратно во фрамуги приточной вентиляции. Практическое отсутствие рассеивания в летний период (короткие трубы вентиляционных выбросов, наличие дефлекторов), обуславливают высокий фоновый загрязнительный эффект внутри корпусов откорма;
- большое количество и концентрация патогенной дурнопахнущей органики в ваннах субстрата;

– наличие остаточных концентраций от периодической антибактериальной обработки помещений и ванн, что убивает часть полезных бактерий, исключая их размножение [66].

Для решения проблемной ситуации, без значительных инвестиций на применение техногенных технологий с высокими затратами – предлагается комплексная технология биоремедиации для дегазации выбросов и сокращения сроков карантинирования, обеззараживания и повышения полезности утилизации переработанных стоков на полях.

Биоремедиация – это технология, в основе которой лежит мощный природный механизм очистки экосистем от загрязнений с достижением биологического и экологического равновесия планеты и круговорота веществ [55].

Комплексная технология биоремедиации с применением биодеструкторов – это совокупность микробиологических средств и, прежде всего, метод и технология их применения с выявлением максимальной эффективности использования.

Преимущества такой технологии заключается в том, что в процессе совместного культивирования (роста) формируются симбиотические связи между этими микроорганизмами, образующие многоклеточную систему, сущностным свойством которой является согласованное взаимодействие, направленное на высокоэффективное достижение общего результата.

Такое взаимодействие повышает эффективность компенсаторно-приспособительных реакций микроорганизмов, обеспечивающих мобилизацию защитных ресурсов клеток, адаптацию микробных популяций к изменяющимся и неблагоприятным условиям окружения, повышение активности ферментных белков, увеличению синтеза антибиотических веществ, витаминов, гормонов роста, органических кислот и других продуктов метаболизма, оказывающих влияние на внешнюю среду.

Попав в эту среду, микроорганизмы быстро размножаются и оказывают широкий спектр действий на её экосистему – быстро разлагают органические

загрязнения: целлюлозу, экскременты животных, рыб, птиц, нефтепродукты, пестициды, тяжелые металлы и пр. Микробы выступают в роли накопителя и регулятора питательных элементов почв, донного грунта и воды, накапливая макро и микроэлементы в усвояемой для живых организмов форме. Обладая выраженным антагонизмом по отношению к патогенным, условно-патогенным и гнилостным микроорганизмам, эффективно подавляют возбудителей заболеваний людей, животных, рыб и растений, подавляют гнилостные микроорганизмы-продуценты сероводорода, аммиака, метана, меркаптана и других токсичных и дурно пахнущих веществ. Многократно снижается показатель биологического потребления кислорода. «Аквабиокс» подавляет цианобактерии, вызывающие «цветение» воды и нитчатые водоросли (тину).

Препарат предотвращает и устраняет неприятные запахи от скопления отходов: свалок, лагун животноводческих объектов, иловых карт очистных сооружений и пр. Снижает содержание в стоках аммонийного и нитритного азота, хлоридов, сульфатов, фосфатов, сероводорода, аммиака, нефтепродуктов и других вредных загрязнений.

Интенсивность вредного воздействия дурно-пахнущих летучих веществ на организм и обоняние человека, в целом на социально-санитарно-общественный негатив, с причинно-следственной связью многочисленных жалоб населения – зависит, в порядке большей значимости [28]:

- от сброса и утилизации навозосточков на поля – 100%;
- выбросов вентиляционных систем свинокомплексов. При определенных погодных условиях (розы ветров, давления, влажности и т.д.) – это до 60-70% интенсивности распространения запахов;
- запахи от лагун и в зависимости от их обработки, времени года и сроков карантинирования стоков в ваннах – это не более 5-10%.

Навоз и навозные стоки должны быть подвергнуты обработке: механической (с последующим компостированием твердой фракции) и биологической, при которой распад органического вещества происходит в

результате жизнедеятельности микроорганизмов, разлагающих органические соединения до конечных продуктов минерализации.

Анализ опыта белорусских ученых по деструкции запахов в корпусах доразливания показал высокую эффективность по удалению аммиака, сероводорода, меркаптана и ХПК до 80% с использованием белорусского биодеструктора «Бактосток» (опыты 2013-2014 гг.) в дозировках 100 мл концентрата на 1 м³ субстрата [5, 21].

Анализ рынка биопрепаратов, применяемых в Белгородской области, и результатов их опытно-промышленных испытаний (ОПИ) для биоремедиации стоков в лагунах показал сравнительно одинаковую эффективность по гидролизации и обеззараживанию стоков с уменьшением осадков и снижения уровня запахов. Это обусловлено тем, что в основе всех применяемых биопрепаратов используется сообщество из 6-8 известных штаммов (*Bacillus subtilis*, ацидофильные лактобактерии и бифидобактерии) с титром до 10 степени концентрации.

Также было установлено, что в Белгородской области на различных свиноводческих комплексах применяют следующие биопрепараты деструкторы: «Эмбионик» – 1 предприятие, «БактоФор-3» – 5 предприятий, «Санвит-К» – 4 предприятия, «Санвит-К-форте» – 1 предприятие, «Доктор Робик LGN 0510» – 1 предприятие, «УБП Биус» – 1 предприятие, «Экомик Про-В» – 1 предприятие. Два предприятия не используют биодеструкторов совсем [46]. К числу активно применяющих «БактоФор-3» предприятий относится и ООО «АПК «Промагро», определенное в качестве базового. Данные по предприятиям представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Применение биопрепаратов-деструкторов органического вещества свиноводческими предприятиями АПК Белгородской области

№ п/п	Название препарата-биодеструктора	Свиноводческие предприятия
1	Эмбионик	ООО "ГК Агро-Белогорье"
2	Санвит-К-форте	ООО "БЭЗРК-Белгранкорм"
3	БактоФор-3 Санвит-К	ОАО БФ "Тамбовский Бекон"
4	Доктор Робик LGN 0510 БактоФор-3	АО "Алексеевский Бекон"
5	Санвит-К	СПК "Колхоз им. Горина"
6	БактоФор-3	ЗАО "Скороднянское"
7	БактоФор-3	БФ ООО "Тамбовский бекон" отделение Ивнянское
8	БактоФор-3	ООО "АПХ "ПРОМАГРО"
9	Экомик Про-В	ООО "Ракита"
10	УБП Биус Санвит-К	ООО "Шебекинская свинина"
11	Санвит-К	ООО «СХК «Яблоновский»
12	Не применяют	АО УК "Агропромышленная группа БВК"
13	Не применяют	ООО "Мираторг-Белгород"

Эмбионик – микробиологический препарат, предназначенный для ускоренного разложения органических остатков растительного и животного происхождения. Является микробиологическим препаратом нового поколения, в результате действия которого получаются безопасные высокоэффективные органические удобрения. Кроме того, использование препарата способствует исчезновению неприятного запаха органических отходов различного происхождения. Производитель – Компания "ГринКо", г. Симферополь, Республика Крым.

Санвит-К-форте, Санвит-К – предназначены для санитарно-гигиенической обработки стоков, подстилок и помещений обитания животных и птицы с целью ускоренной деструкции органических отходов. Содержит живые спорообразующие микроорганизмы рода *Bacillus*, общим биологическим свойством которых является антагонистическая активность к условно-патогенной микрофлоре, продуцирование ферментов и биологически активных веществ, под воздействием которых ускоряются процессы разложения органических отходов

животноводческих комплексов. Производитель – ООО «НТЦ БИО», г. Шебекино, Белгородская обл.

БактоФор-3 – биодеструктор, состоящий из выбранных микроорганизмов, применяется для утилизации и обезвреживания свиного, коровьего навоза и навозной жижи в лагунах, а также птичьего помета в буртах. Это бактериальный препарат нового поколения, в основу которого входит ассоциация бактерий, состоящая из аэробных и анаэробных ферментов. Бактерии выделены из природных условий и отобраны по признаку наиболее активной деструкции свиных стоков. В состав, кроме штаммов - микроорганизмов, входят активные ферментные системы, минеральные, органические компоненты, которые активизируют процесс деструкции и локализации стоков. Производитель – ООО "БиоГран", г. Курск.

Доктор Робик LGN 0510 – микробиологический препарат для ферм КРС и свинарников для обработки жидкого навоза и навозных стоков в любых типах навозохранилищ. Несколько микроорганизмов рода *Bacillus*, входящих в препарат, способствуют обеззараживанию отходов животноводства; ускоряют переработку жидкого навоза и навозных стоков в высококачественное удобрение и при внесении в почву активизируют почвообразующие процессы; устраняют неприятные запахи и снижают концентрацию аммиака и сероводорода в районе животноводческого комплекса. Производитель – ООО «ВИПЭКО», г. Москва.

Экомик Про-В – специально разработан для применения в условиях промышленного животноводства и птицеводства, очистки сточных вод предприятий перерабатывающей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Биопрепарат применяется для устранения неприятных специфических запахов от животноводческих и птицеводческих объектов (корпусов, навозоаккумуляторов и площадок компостирования помёта), снижения концентрации токсичных газов (аммиак и сероводород) в воздухе рабочей зоны и нормализации микроклимата производственных помещений, устранения корки и вязкого осадка навоза при его накоплении и хранении, а также жировых отложений и засоров в канализационных системах, ускоренной переработке

помёта в органическое удобрение, улучшения физико-химических показателей сточных вод предприятий по убою и переработке животных и птицы, подавления развития патогенной микрофлоры и возбудителей инвазионных заболеваний в животноводческих стоках и помёте птиц. Производитель – НПО «Биотехсоюз», г. Москва.

УБП Биус – ускоритель биологических процессов предназначен для удаления неприятных запахов (в том числе сероводорода, тиолов, аммиака и других соединений) образованных биохимическими процессами, возникающими в результате жизнедеятельности людей, сельскохозяйственных животных и птицы. Может использоваться в процессах биохимической очистки сточных вод и отходов пищевого производства. Производитель – Компания «БиоМикс», г. Нижний Новгород.

Известно, что при внесении микроорганизмов в питательную среду они обычно растут до тех пор, пока содержание питательных веществ не достигнет минимума, после чего рост прекращается [66, 93]. Процесс роста и размножения микроорганизмов в такой системе происходит в несколько фаз и отражается законом Михаэлиса-Ментена (рисунок 4.1).

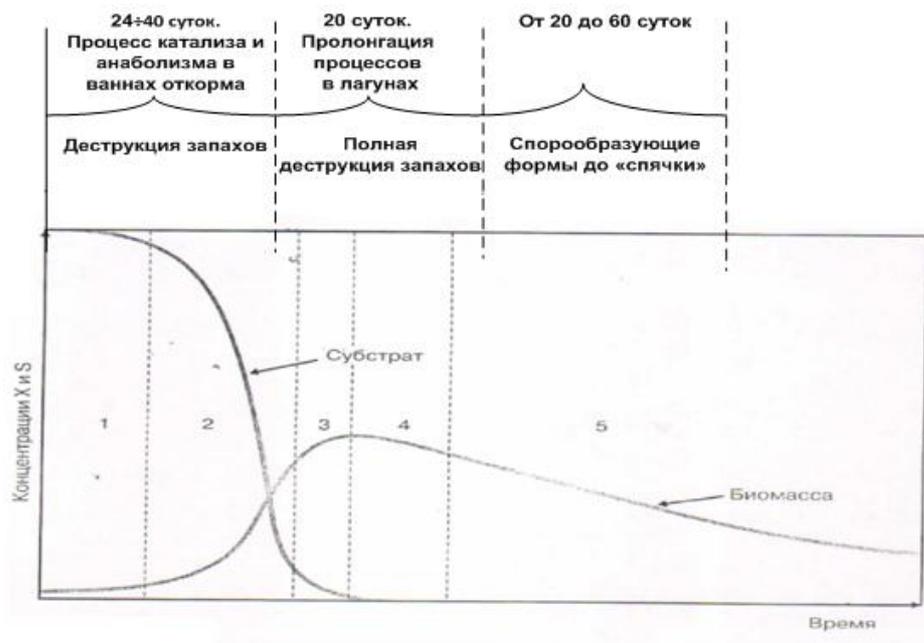


Рисунок 4.1 – График изменения концентрации биомассы и концентрации субстрата (развитие культуры бактерий)

Фаза 1 – фаза катализа и адаптации биокультуры к субстрату. Синтезируются ферменты питания необходимые для метаболизации (разложения) субстрата. На этой фазе отсутствует размножение (клеточная репродукция).

Фаза 2 – экспоненциального роста полезной бактериальной культуры (максимально интенсивно-взрывной при сходстве вида культур и органопотенциала субстрата). Рост прогрессирует пока есть достаточное количество питания (субстрата). Это процесс анаболизма (размножения).

Фаза 3 – замедление роста. Данный процесс замедления анаболизма свидетельствует о истощении среды субстрата, элементов питания. На замедление роста действует и накопление в клетках ингибиторов, образующихся в ходе собственного метаболизма бактерий.

Фаза 4 – максимальный рост достигнут и общий рост клеток прекращается, даже если они сохраняют свою метаболическую активность. Отмирание и синтез бактерий уравнивается.

Фаза 5 – эндогенная фаза деградации с уменьшением концентрации живых клеток с переходом процесса в режим спорообразующего «сна».

Все фазы жизнедеятельности бактерий присущи как аэробной, так анаэробной и аноксидной среде с более высокой интенсификацией процессов развития в аэробной среде и в условиях повышенных температур до 500 °С. Фазы № 1, 2 – протекают в ваннах навозосток, а фазы № 3–5 – в лагунах карантинирования субстрата. Исходя из вышесказанного, целесообразно обеспечить интенсивность фазы № 2 в ваннах корпусов повышенного содержания патогенного субстрата, а фазу № 3 продолжить в лагунах с достижением высокого эффекта гидролиза. При утилизации очищенных стоков на полях спорообразующие формы полезных микроорганизмов при поступлении определенной патогенности «проснутся» и увеличат удобрительную способность, залечивая почву и повышая ее плодородность – это и есть основные цели и задачи достижения положительных результатов опытно-промышленных испытаний [55].

4.2 Экспериментальные исследования деструкторов запахов

4.2.1 Схема и описание экспериментальной установки

Основной целью проведения лабораторных испытаний является определение эффективности влияния биодеструктора на снижение или устранения эмиссии запахов в ваннах субстрата корпусов откорма.

В этих целях определяется эмиссия запахов аммиака, сероводорода, CO_2 , CH_4 , O_2 с записью результатов в таблицу для построения графиков: индивидуальных для каждой емкости и биопрепарата, а также графика сравнения с наложением всех индивидуальных кривых на одну плоскость координат XU .

По анализам результатов лабораторных испытаний делаются выводы и рекомендации для дальнейшего использования наиболее эффективного биопрепарата.

Для проведения испытаний приобретается 8 универсальных емкостей elfplast с широкой закрываемой горловиной на 10 л с трансформацией их в аналог ванн субстрата навозосток корпусов откорма.

Далее производится отбор высококонцентрированного свежего субстрата из ванны в корпусе откорма на последней стадии выращивания до убойных кондиций, т.е. субстрат с максимальной концентрацией патогенного органопотенциала на свиноводческом комплексе «Оскольский Бекон-3». Отбираемые навозостоки для лабораторных испытаний должны содержать 20-30% осадка, отбираемого из зоны дефекации свиней в ванны.

В универсальных емкостях в крышку ввинчиваются два штуцера, через которые затем пропускаются с плотным прилеганием гибкие шланги. Через один шланг с зажимом в моменты отбора проб нагнетается воздух, второй (без зажима) со свободным выходом является воздушником и подсоединяется к газоанализатору в момент анализа проб.

Температурный фактор помещений должен быть не менее 24-25 °С и поддерживается электронагревателем. Дозировка рабочих растворов

производится микробюреткой в соответствии с регламентом расхода препарата на 1 м^3 навозостока после пересчета дозировки на 7,5 л испытуемого субстрата.

В каждую емкость после проведения базового замера (до внесения биодеструкторов) вводится препарат в расчётном количестве. Экспозиция отбора проб на контрольные анализы производится каждые 4 дня.

Для проведения анализа снимается зажим, организуется одноминутная прокачка воздуха компрессором в емкость с последующим проведением анализов через воздушник (при работающем компрессоре до завершения анализа), после чего компрессор отключается и нагнетательный шланг перехватывается зажимом (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Емкости с навозостоками (а) и варианты присоединения оборудования для замеров концентрации газов (б)



Рисунок 4.3 – Приборы для измерения концентрации газов

4.2.2 Анализ результатов лабораторных исследований деструкторов

Для оценки содержания вредных веществ в емкостях со стоками выполнены измерения концентрации угарного газа (CO), двууглекислого газа (CO₂), оксида серы (SO₂), метана (CH₄), сероводорода (H₂S) и аммиака (NH₃). Для измерения концентрации газов использовались газоанализаторы СЕАН П-4 (рисунок 4.3). Результаты измерений концентрации газов приведены в таблице 4.2 и на рисунках 4.4–4.7. Также при обработке результатов методом аппроксимации были получены уравнения, позволяющие оценивать эффективность биопрепаратов для снижения концентрации выделяемых газов.

Таблица 4.2 – Результаты замеров концентрации газов

Наименование препарата	№ дня проведения замеров	Концентрация вредных веществ							
		CO ₂₋₅ , об. %	NO ₂ , мг/м ³	CO, мг/м ³	SO ₂ , мг/м ³	CH ₄ , об. %	NH ₃ , мг/м ³	H ₂ S, мг/м ³	O ₂ , об. %
Препарат № 1 (Экомик)	день 1	4,7	0,0	17,3	1,1	0,14	52,8	60	15,4
	день 5	1,38	0,0	5	1,1	0,56	36,2	0,7	14,4
	день 9	1,51	0,0	2,3	0,2	0	52,2	1,4	20,1
	день 13	0,89	0,0	0,2	1,4	0	36,1	4,3	20,2
	день 17	1,41	0,0	1,3	0,7	0,12	48,9	1,3	19,8
Препарат № 2 (Эмбионик)	день 1	4,38	0,0	20,8	1,4	0,03	23,9	60	15,8
	день 5	1,02	0,0	3	0,6	0,09	66,6	0,5	19,5
	день 9	0,89	0,0	2,6	0,2	0,01	53,9	0,9	19,9
	день 13	0,86	0,0	0	0,6	0	47,4	0,9	20,1
	день 17	0,76	0,0	0,8	0,2	0,04	71,6	1	20,4
Препарат № 3 (Бактофор-3)	день 1	5,05	0,0	19,8	1,3	0,07	40	60	17,1
	день 5	1,21	0,0	5,6	0,5	0,2	58,2	0,6	18,6
	день 9	1,06	0,0	1,8	0,2	0,04	51,4	0,7	19,8
	день 13	0,84	0,0	0,5	0,8	0	38,7	3,4	20,2
	день 17	0,58	0,0	0,6	0,2	0,04	58,5	1,8	20,4
Препарат № 4 (Санвит)	день 1	4,94	0,0	19,6	1,2	0,09	15,5	60	15,8
	день 5	0,86	0,0	1,9	0,5	0,09	47,6	1,6	19,5
	день 9	0,57	0,0	1	0	0,01	60,2	1,1	20,2
	день 13	1,01	0,0	0,6	0,6	0	44,2	0,9	20
	день 17	0,54	0,0	0,5	0	0,03	62,5	0,8	20,5

Наименование препарата	№ дня проведения замеров	Концентрация вредных веществ							
		CO ₂₋₅ , об. %	NO ₂ , мг/м ³	CO, мг/м ³	SO ₂ , мг/м ³	CH ₄ , об. %	NH ₃ , мг/м ³	H ₂ S, мг/м ³	O ₂ , об. %
Препарат № 5 (Санвит (двойная дозировка))	день 1	4,94	0,0	19,6	1,2	0,09	15,5	60	15,8
	день 5	1,47	0,0	6	0,6	0,54	33,5	0,5	16,4
	день 9	1,74	0,0	2,2	0	0,12	32,4	0,6	19,1
	день 13	1,28	0,0	1,5	0,6	0	37,6	1	20
	день 17	1,92	0,0	1,8	0	0,12	40,2	0,7	19,4
Препарат № 6 (Санвит-К (двойная дозировка))	день 1	0,34	0,0	0,1	1,2	0,04	44,5	60	19,7
	день 5	0,66	0,0	0,9	0	0,02	49,3	0,7	20,2
	день 9	0,57	0,0	0,3	0,4	0	50,1	0,8	20,3
	день 13	0,54	0,0	0,1	0	0	57,8	0,7	20,3
Препарат № 7 (Эминекст)	день 1	0,58	0,0	0,5	0,9	0,06	63,2	60	20,4
	день 5	0,53	0,0	0,6	0	0,02	50,0	0,7	20,3
	день 9	0,57	0,0	0,3	0,5	0	46,6	1,1	20,2
	день 13	0,43	0,0	0,3	0,1	0	51	0,8	20,4
Препарат № 8 (Эминекст (двойная дозировка))	день 1	0,78	0,0	0,8	0,8	0,06	51	60	20,2
	день 5	0,61	0,0	0,6	0	0,06	38,2	0,5	20,3
	день 9	0,57	0,0	0,2	0,5	0	42,1	0,9	20,3
	день 13	0,55	0,0	0,1	0	0,04	43,7	0,9	20,4

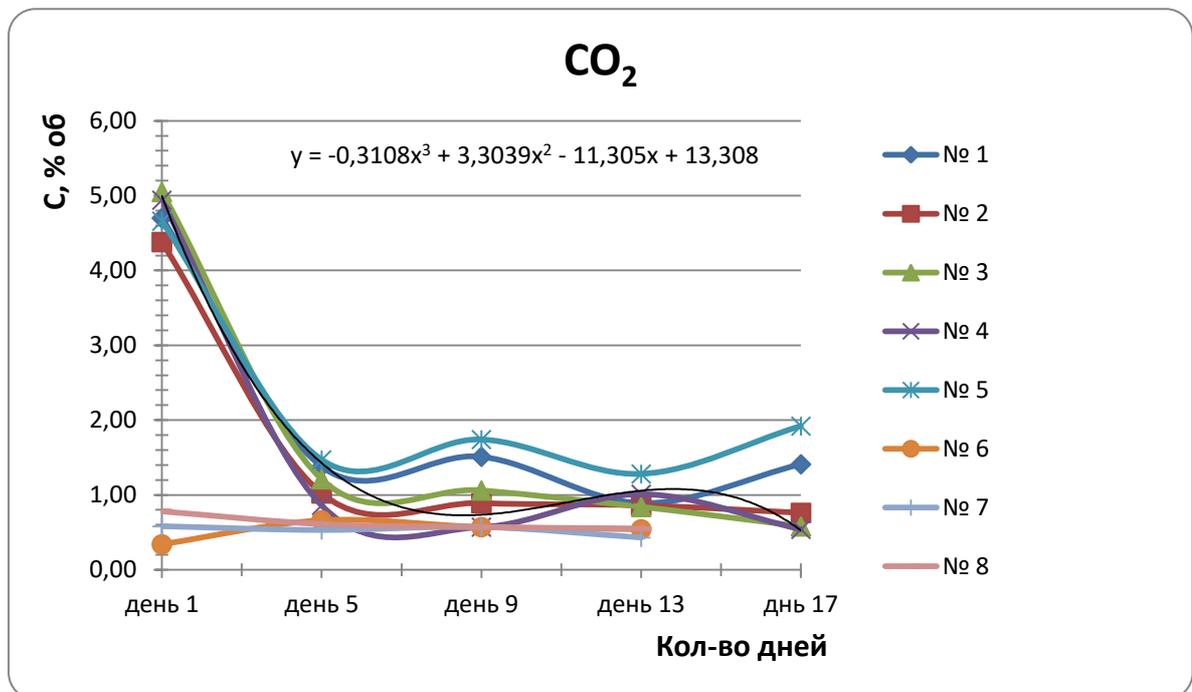


Рисунок 4.4 – Результаты замеров содержания углекислого газа

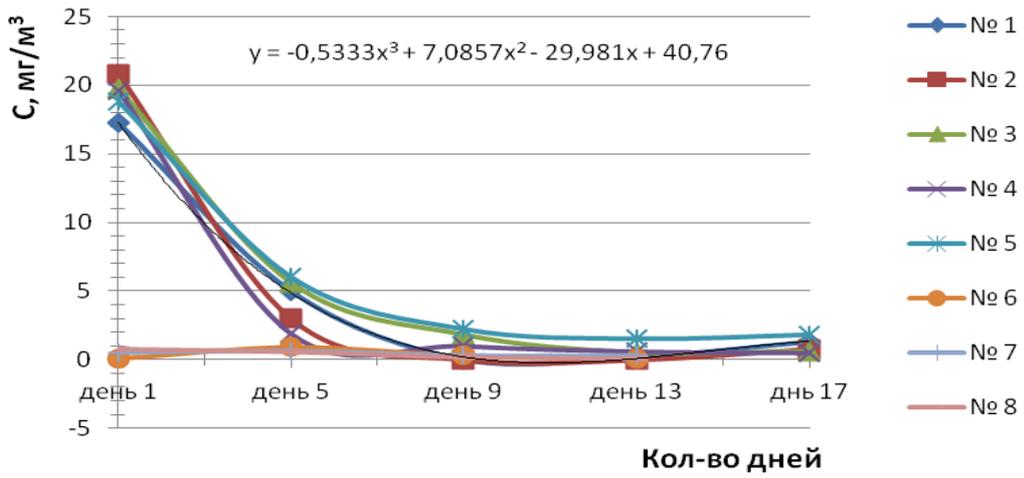


Рисунок 4.5 – Результаты замеров содержания оксида углерода

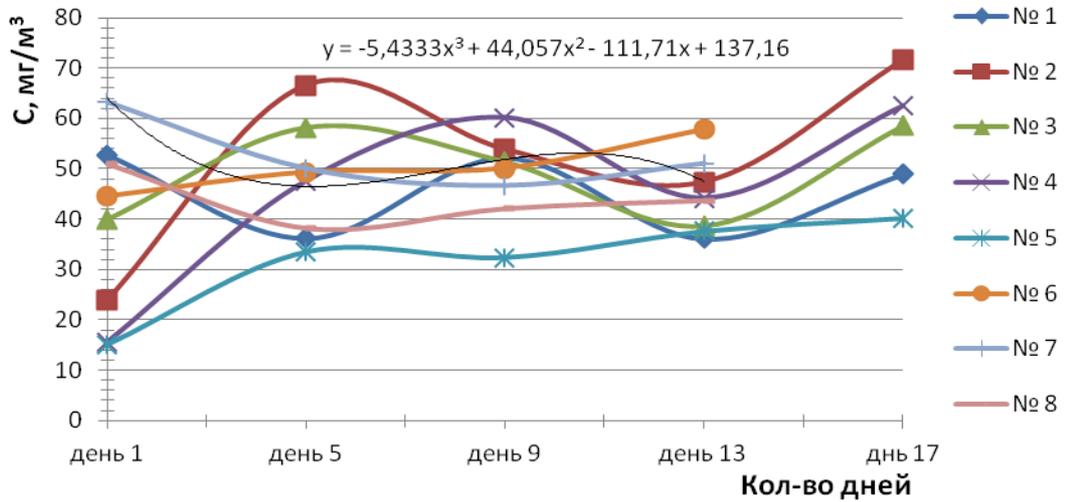


Рисунок 4.6 – Результаты замеров содержания аммиака

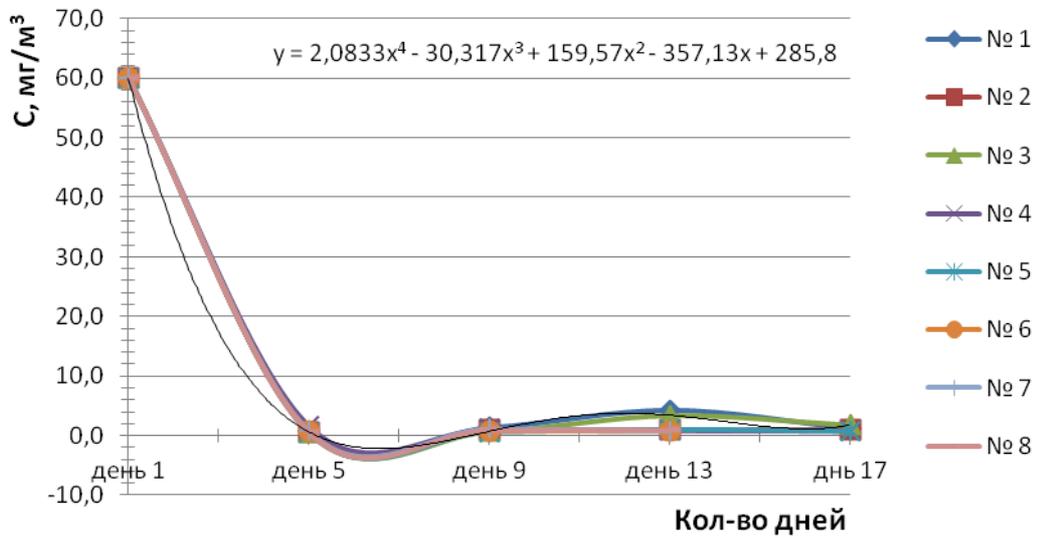


Рисунок 4.7 – Результаты замеров содержания сероводорода

Анализ результатов замеров содержания углекислого газа (рисунок 4.4) показывает, что в первые 5 дней происходит резкое снижение выделения CO_2 от 4,5 – 5 % до 1 – 1,5% для деструкторов запаха № 1 – 5. Далее они перестают оказывать существенное влияние и изменения в выделении CO_2 происходят, можно считать, в пределах погрешности измерений. И только лишь препараты «Санвит-К» двойной дозировки и «Эминекст» дают снижение концентрации CO_2 начиная с первого дня внесения.

Анализ результатов замеров содержания оксида углерода (рисунок 4.5) показывает, что в первые 5 дней происходит резкое снижение выделения CO с 17 – 21 мг/м^3 до 2 – 6 мг/м^3 для деструкторов запаха № 1 – 5. Далее выделение CO происходят в минимальных количествах, стремясь к нулю, и возможно небольшое повышение содержание оксида углерода, начиная с 13-го дня, можно объяснить некими погрешностями измерений, поскольку тенденция характерна для всех восьми экспериментов. Сохраняется лишь тенденция резкого влияния препаратов «Санвит-К» двойной дозировки и «Эминекст» на снижение концентрации CO начиная с первого дня внесения.

Анализ результатов замеров содержания диоксида серы (таблица 4.2) повторяет тенденцию резкого снижения содержания SO_2 с 0,8 – 1,2 мг/м^3 до 0 мг/м^3 на 5-й день замеров для деструкторов запаха «Санвит-К» двойной дозировки и «Эминекст». Однако до 9-го дня неожиданно происходит скачок концентрации до 0,4 – 0,5 мг/м^3 с последующим снижением концентрации до нуля на 13-й день. Нулевые концентрации SO_2 достигаются и при использовании препаратов «Экомик» и «Санвит» двойной дозировки, но на 9-й и 17-й дни и, опять же, со скачком в сторону повышения до 0,6 мг/м^3 на 13-й день измерений. Данная тенденция характерна для всех препаратов № 1 – 5, что может свидетельствовать об их приблизительно равном воздействии на субстрат. Но при этом «Экомик» и «БактоФор-3» показывают большую концентрацию.

Анализ результатов замеров содержания метана (таблица 4.2) показывает тенденцию резкого снижения содержания NH_4 с 0,04 – 0,06 % до 0 % на 9-й день замеров для деструкторов запаха «Санвит-К» двойной дозировки и «Эминекст» обычной и двойной дозировки. Причем указанная концентрация сохраняется и на 13-й день наблюдений. Все остальные деструкторы показывают нулевую концентрацию только на 13-й день. Причем «Экомик», «Санвит» двойной дозировки и «БактоФор-3» на 5-й день дают увеличение концентрации метана скачкообразно от 0,20 до 0,56%.

Анализ результатов замеров содержания аммиака (рисунок 4.6) показывает широкий разброс концентраций от 15 до 63 мг/м³ в первый день замеров для всех исследуемых емкостей с дальнейшим понижением концентраций до 38 мг/м³ для препаратов «Экомик», «БактоФор-3» и «Санвит-К» двойной дозировки на 13-й день замеров. Концентрацию от 45 до 51 мг/м³ на 13-й день замеров показал препарат «Эминекст». Графики показывают нецелесообразность дальнейшего внесения препаратов № 1 – 5 из-за резкого роста концентрации аммиака.

Из графиков изменения концентрации сероводорода (рисунок 4.7) видно, что при внесении всех препаратов достигается практически идентичный результат – резкое снижение концентрации H_2S с 60 мг/м³ до нулевой отметки на 5-й день замеров. И далее нулевое значение сохраняется во все дни замеров, за исключением 13-го дня. Небольшие отклонения в этот день можно объяснить погрешностью замеров [47].

Кислород (таблица 4.2) от 15 – 20% в первый день замеров стабилизируется с 9-го дня и далее находится в пределах 20% практически для всех деструкторов.

Все исследуемые препараты биодеструкторы показали свою достаточную эффективность в проведенных лабораторных испытаниях. Вместе с тем, выявлено незначительное преимущество в снижении концентрации отдельных газов для препаратов № 1, № 7 и № 8 по отношению к другим. Наибольшую эффективность по комплексному снижению концентрации вредных выделений показал препарат № 7.

Расчет эффективности удаления вредных газов производился по формуле:

$$\Xi = \frac{C_{нач} - C_{кон}^{cp}}{C_{нач}} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

где $C_{нач}$ – начальная концентрация вредных газов в первый день проведения эксперимента (до внесения биодеструкторов), мг/м^3 ; $C_{кон}^{cp}$ – среднее арифметическое из всех концентраций после внесения биологических добавок (со второго дня и до конца проведения испытаний), мг/м^3 .

Эффективность удаления сероводорода H_2S составила:

- для препарата № 1 (Экомик) – 96,8%;
- препарата № 7 (Эминекст) – 98,6%;
- препарата № 8 (Эминекст 2-й доз.) – 98,7%.

Эффективность удаления аммиака NH_3 составила:

- для препарата № 1 (Экомик) – 17,9%;
- препарата № 7 (Эминекст) – 22,2%;
- препарата № 8 (Эминекст 2-й доз.) – 19,0%.

При обработке результатов методом аппроксимации были получены уравнения, позволяющие оценивать эффективность биопрепаратов для снижения концентрации выделяемых газов. Изменение концентрации аммиака NH_3 при добавке деструкторов дает большой разброс данных, аппроксимация которых позволила получить уравнение (4.2). Изменение концентрации оксида углерода от времени воздействия реагентов представлено уравнением (4.3). Зависимость влияния деструкторов на изменение концентрации сероводорода описывается уравнением (4.4).

$$y = -5,4333x^3 + 44,057x^2 - 111,71x + 137,16, \quad (4.2)$$

$$y = -0,5433x^3 + 7,0857x^2 - 29,981x + 40,76, \quad (4.3)$$

$$y = 2,0833x^4 - 30,317x^3 + 159,57x^2 - 357,13x + 285,8, \quad (4.4)$$

где y – это концентрация вещества, мг/м^3 , а x – условная величина, обозначающая периодичность замеров (4 дня). Например, для первого дня проведения замеров соответствует значение $x=1$, а для 5-го дня эксперимента – $x=2$ и т.д.

4.3 Выводы

1. Представлена характеристика биологических препаратов, применяемых на территории Белгородской области для снижения неприятных запахов от навозных стоков свиноводческих комплексов.

2. Выполнены замеры выбросов из корпусов и на территориях, прилегающих к свинокомплексу ООО «АПК «Промагро» (с. Хорошилово Старооскольского района Белгородской области).

3. С целью удаления вредных запахов из помещений содержания животных исследованы биодеструкторы запахов, действие которых основано на использовании биохимического потенциала микроорганизмов для детоксикации загрязняющих веществ или снижения их концентрации в окружающей среде. Проведен анализ эффективности применяемых препаратов.

В лабораторных условиях проведены испытания биодеструкторов запаха, применяемых на территории Белгородской области («Экомик Про-В», «Эмбионик», «Бактофор-3», «Санвит», «Санвит-К» и «Эминекст»). Установлен уровень их эффективности.

4. Получены зависимости снижения концентрации сероводорода, аммиака и углекислого газа от вида биодеструктора и времени воздействия. Установлено, что наиболее эффективными добавками для снижения концентрации выделяемого в помещениях аммиака и сероводорода являются препарат «Экомик Про-В» и препарат «Эминекст», которые целесообразно использовать в технологии биоремедиации.

5. Получены уравнения, позволяющие оценивать эффективность биопрепаратов для снижения концентрации выделяемых вредных газов в зависимости от продолжительности испытаний.

ГЛАВА 5 ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТОК

5.1 Экспериментальные исследования биопрепаратов для снижения выделения запахов в лагунах

Разработка методологических и технологических принципов биоремедиации экосферы свинокомплексов проводится с целью очистки и обеззараживания навозосточков; снижения выбросов загрязняющих веществ и запахов в атмосферу; повышения эффективности использования (утилизации) навозосточков как органических удобрений с сокращением сроков карантирования (выдержки) до 4-х месяцев с учетом срока заполнения лагуны (навозосборника) [91].

Исследование технологии биоремедиации в реальных условиях опытно-промышленных испытаний в контрольных производственных корпусах (доращивание, откорм) исследуемых образцов биопрепаратов на основе использования комплекса штаммов микроорганизмов позволит выявить наиболее эффективные добавки для промышленного использования.

Основной показатель и задача биоремедиации – выявление действия биопрепарата в роли биодеструктора с выбором для широкого практического использования такого синергетического консорциума до 12 видов аэробно-анаэробных факультативных сапрофитных микроорганизмов специально отобранных и адаптивно селекционированных по критерию деструкции сложных органических загрязнений – сертифицированных и прошедших апробацию.

На базе свинокомплекса «Оскольский бекон-3» ООО «АПК «ПромАгро» были проведены испытания трех биопрепаратов для снижения выделений запахов в лагунах:

- лагуна № 9 применялся препарат «Nonfetor» - истребитель запаха»;
- лагуна № 4 - препарат «Санвит-К-форте» - деструктор запаха»;
- лагуна № 3 - препарат «Бактофор-3-лагуна» - деструктор запаха».

В лагунах № 9, 4 – экспозиция выдержки – 31-35 сут, лагуна № 3 – исследовалась с выдержкой 31 день с пролонгацией до 60 сут.

Данные из протоколов испытаний, для удобства сравнения, сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Таблица сравнительных результатов испытания биопрепаратов

Компоненты	Бактофор-3 лагуна		Nonfetor		Санквит-К-форте		Примечание
	до	после	до	после	до	после	
pH	7,2	7,5	–	7,5	7,5	7,5	
Доля сух. ост.	1,42	0,9	–	1,04	1,09	1,65	Массовая доля в % на сух. в-во
Доля золы	29,68	29,63	–	29,94	29,64	22,75	
Доля орг. в-ва	35,16	35,19	–	35,03	35,18	38,63	
N ₂	0,19	0,19	–	0,22	0,22	0,23	% на исх. влажность
P ₂ O ₅	0,07	–	–	0,09	0,09	0,09	
K ₂ O	0,16	–	–	0,19	0,21	0,20	
Свинец	2,68	–	–	3,22	1,89	1,80	Токсичные элементы
Ртуть	0,014	–	–	0,011	0,008	0,010	
Медь	1526,4	–	–	2012,4	1794,1	1308,2	
Кадмий	0,58	–	–	0,8	0,74	0,55	
Мышьяк	0,50	–	–	0,72	0,28	0,47	
Цинк	4020,4	–	–	4901,0	4364,7	3297,9	

Микробиологические показатели у всех трех практически одинаковы:

- БГКП (клеток) – 100/10;
- энтерококки (стрептококки фекальные) – 100/10;
- патогенные энтеробактерии – не обнаружены;
- стафилококки, клостридии (патогенные) и спорообразующие мкр (рода bacillus) и паразитологические показатели – не обнаружены.

Анализ результатов проведенных испытаний:

1. Препарат «Бактофор-3». Эффективность препарата в рекомендованных ранее (до выдачи нами рекомендаций) 9-10 мл концентрата на 1 м³ навозостока незначительна: имелась корка на 2/3 площади зеркала в лагунах; запахи имели место и довольно сильные (по результатам посещения и осмотра лагун в конце июля – начале августа 2020 г. без дополнительного внесения биопрепаратов).

После внесения дополнительных концентраций (доза до 30-35 мл концентрата на 1 м³ – эффективность хорошая по ослаблению запаха (до слабоощутимых), высокая по обеззараживанию за период 30-40 дней карантинирования. Существенный эффект по увеличению в осадке – минеральной составляющей, оксидов токсичных элементов (зола) с уменьшением органопотенциала осадка, а также снижение содержания азота и фосфора, растворенных токсичных оксидов не наблюдается. Инициация перемешиванием применялась. По отношению к двум другим биопрепаратам по эффективности практически сравним с «Санвит-К-форте» и предпочтительнее «Nonfetor».

2. Препарат «Nonfetor» - истребитель запахов». При ориентировочной дозировке 35-40 мл концентрата на 1 м³ стока запахи истребил до уровня двух других биопрепаратов. Эффективность по запахам у всех трех препаратов одинаковая. Существенно хуже эффективность (по отношению к двум конкурентам) и показатели по токсичным элементам: свинец; ртуть; медь; кадмий; мышьяк; цинк – и это при том, что температурный фактор и дозировка реагента имели преимущество по отношению к «Бактофор-3».

3. Препарат «Санвит-К-форте». Все показатели сравнимы с «Бактофор-3», но внесение биопрепарата в сухом виде имело существенное преимущество (по активному титру реагента), что, соответственно, отразилось на более лучших показателях по токсичности по отношению к «Бактофор-3» (по меди, цинку, ртути, свинцу и мышьяку).

Доказано, что при повышенных дозировках биодеструкторов (около 35 мл концентрата на 1 м³ навозостока) имеет место высокоэффективное снижение запаха и обеззараживание стоков за короткий период карантинирования до 40-50 дней.

Следует отметить, что актуальной задачей является комплексное исследование отходов АПК с целью их практического использования [32, 69, 89], а также применение различных способов утилизации тепла в системах обеспечения технологических параметров микроклимата [40, 44].

На основании проведенных поисковых исследований предложено организовать процессы деструкции запахов в помещениях (в ваннах) с пролонгацией эффектов в лагунах.

Для оценки экологической обстановки определяли параметры наружного воздуха вдоль границы предприятия с подветренной стороны блока корпусов, проводили замеры вредных выбросов с последующим составлением карт рассеивания. Определили 12 точек напротив каждого полукорпуса левого крыла (через каждые 15-20 м вдоль ограждения) на расстоянии 10-15 м от полукорпусов левого крыла.

Для оценки содержания вредных веществ и уровня запахов в помещениях для откорма свиней и на выбросе вентиляционных шахт корпусов свиноводческого комплекса выполнены измерения концентрации угарного газа (CO), двууглекислого газа (CO₂), оксида азота (NO₂), оксида серы (SO₂), метана (CH₄), сероводорода (H₂S) и аммиака (NH₃), для оценки уровня запаха проводились измерения методом разбавления до порогового значения.

Для измерения концентрации газов использовались газоанализаторы СЕАН П-4, для измерения уровня запахов – ольфактометр Nasal Ranger методом разбавления их до порогового значения.

Измерения проводились внутри корпусов (в проходе полукорпуса), вблизи мест забора воздуха приточными клапанами, на выбросе из шахт (на 4 группах шахт на каждом корпусе) и вдоль ближайшей к обследуемым корпусам границы территории предприятия (рисунок 5.1). Средние значения результатов измерений представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Результаты измерений концентрации газов

На высоте 0,3 м				На высоте 1,7 м				На вытяжном камине		
H ₂ S, мг/м ³	NH ₃ , мг/м ³	t, °C	φ, %	H ₂ S, мг/м ³	NH ₃ , мг/м ³	t, °C	φ, %	H ₂ S, мг/м ³	NH ₃ , мг/м ³	t, °C
0,5	4,8	30,3	39,3	0,4	4,8	30,2	36,1	0,5	2,5	29,9

Как видно из таблицы 5.2, концентрация сероводорода остается неизменной. Аммиак, как более легкий газ, рассеивается в помещении цеха и на выбросе концентрация снизилась вдвое.

12	1	2	3	4	Дата _____ 2021 Температура наружного воздуха _____ °С Влажность наружного воздуха _____ % Скорость ветра _____ м/с Барометрическое давление _____ кПа
	1		3	4	
11	1	2	3	4	
	1		3	4	
10	1	2	3	4	
	1		3	4	
9	1	2	3	4	
	1		3	4	
8	1	2	3	4	
	1		3	4	
7	1	2	3	4	
	1		3	4	
6	1	2	3	4	
	1		3	4	
5	1	2	3	4	
	1		3	4	
4	1	2	3	4	
	1		3	4	
3	1	2	3	4	
	1		3	4	
2	1	2	3	4	
	1		3	4	
1	1	2	3	4	
	1		3	4	

Рисунок 5.1 - Ситуационный план замеров

На основании полученных данных, с использованием программ "СЗЗ-Эколог (версия 1.1)" и "УПРЗА Эколог 4.60.8" выполнен расчет рассеивания выбросов вредных и пахучих веществ на территориях, прилегающих к свинокомплексу.

Карты рассеивания приведены на рисунках 5.2-5.5.

Учитывая допустимые концентрации вредных веществ в помещениях свинокомплексов согласно РД-АПК 1.10.02.04-12:

- диоксида углерода (CO_2) – не более 0,2 об. %;
- аммиака (NH_3) – не более 20 мг/м³;
- сероводорода (H_2S) – не более 10 мг/м³;

и требований ГН 2.2.5.1313-03 (с дополнениями), можно сделать вывод о допустимой концентрации перечисленных веществ в атмосфере помещений.

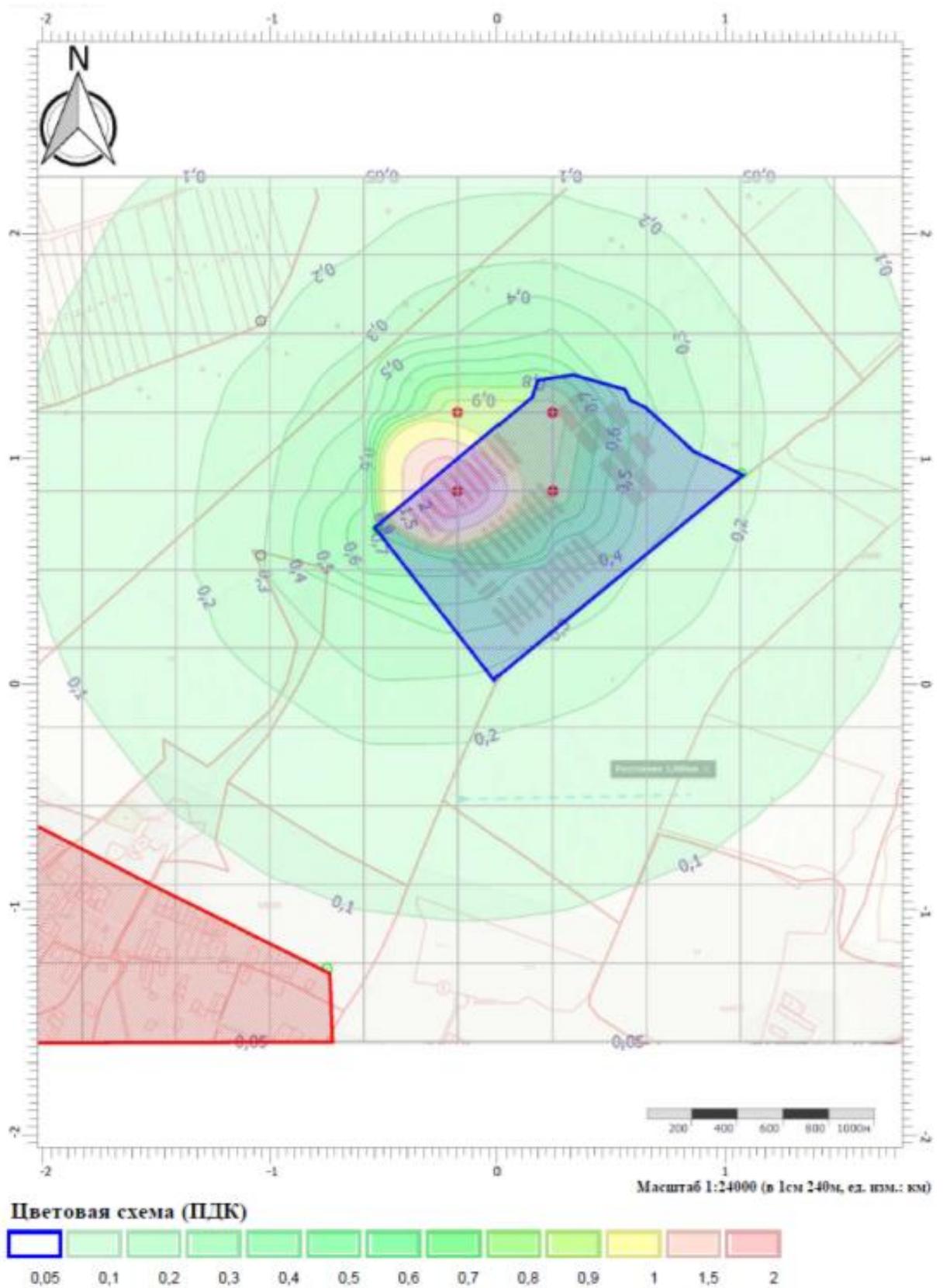


Рисунок 5.2 - Карта рассеивания выбросов аммиака

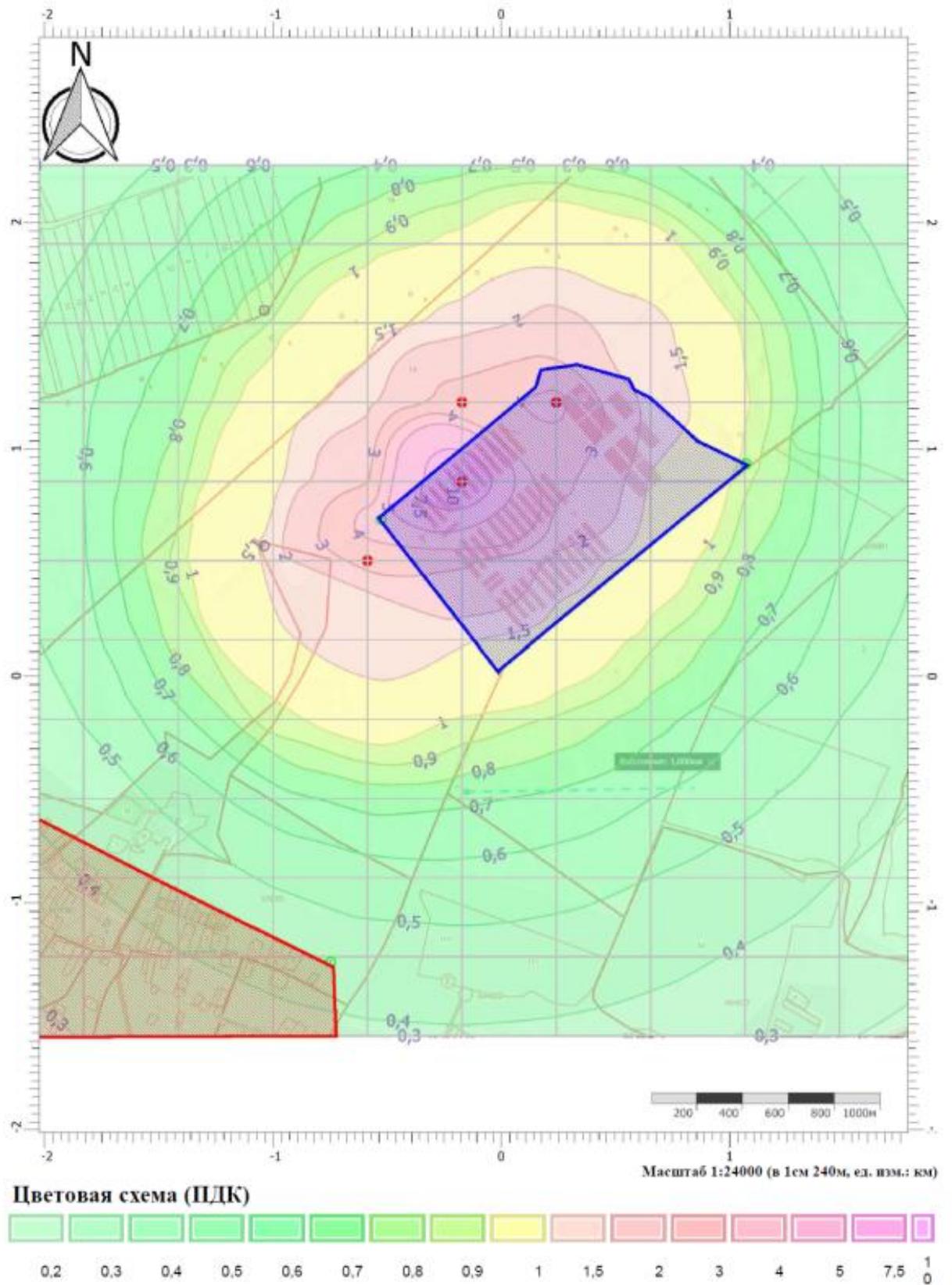


Рисунок 5.3 - Карта рассеивания выбросов сероводорода

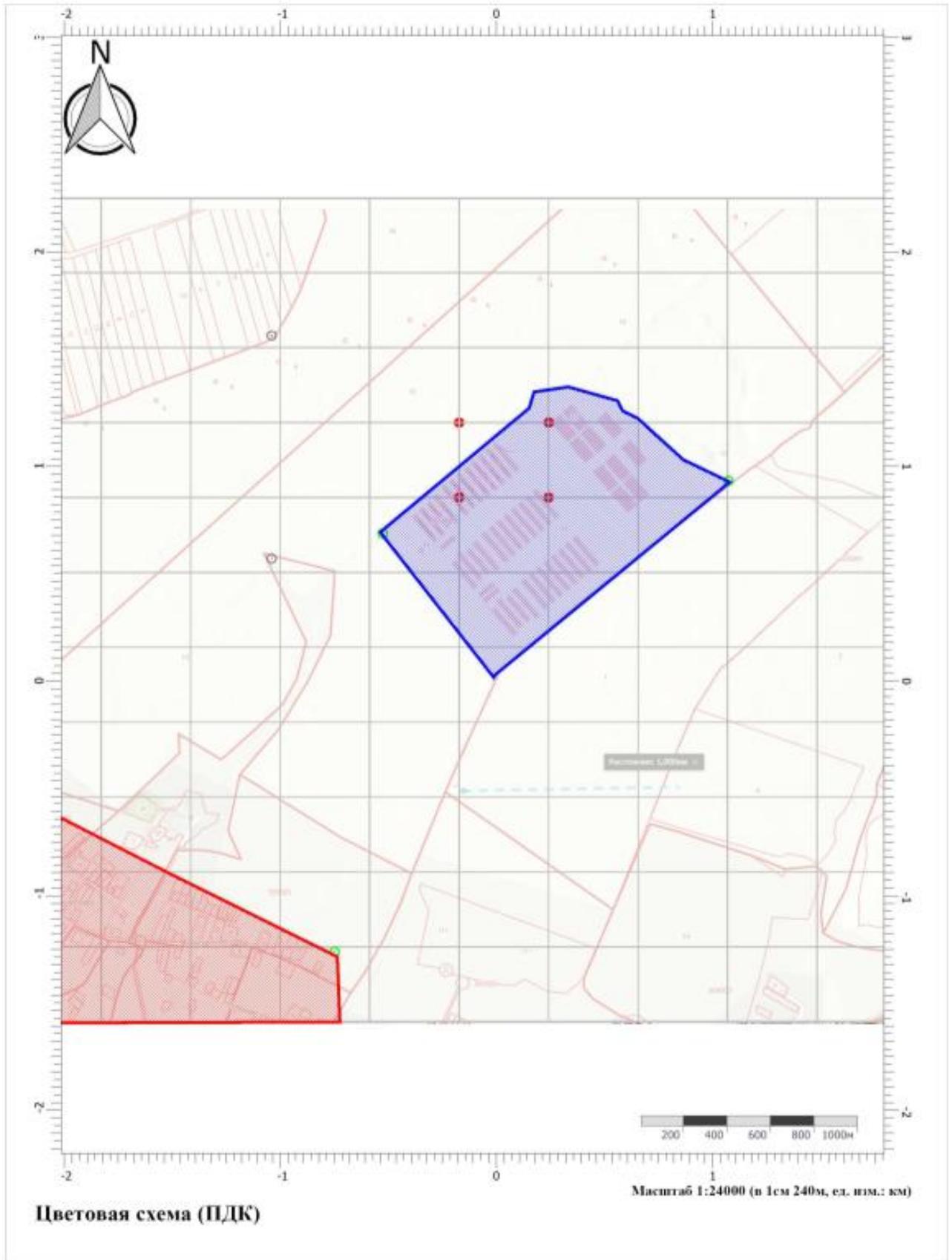


Рисунок 5.4 - Карта рассеивания выбросов метана

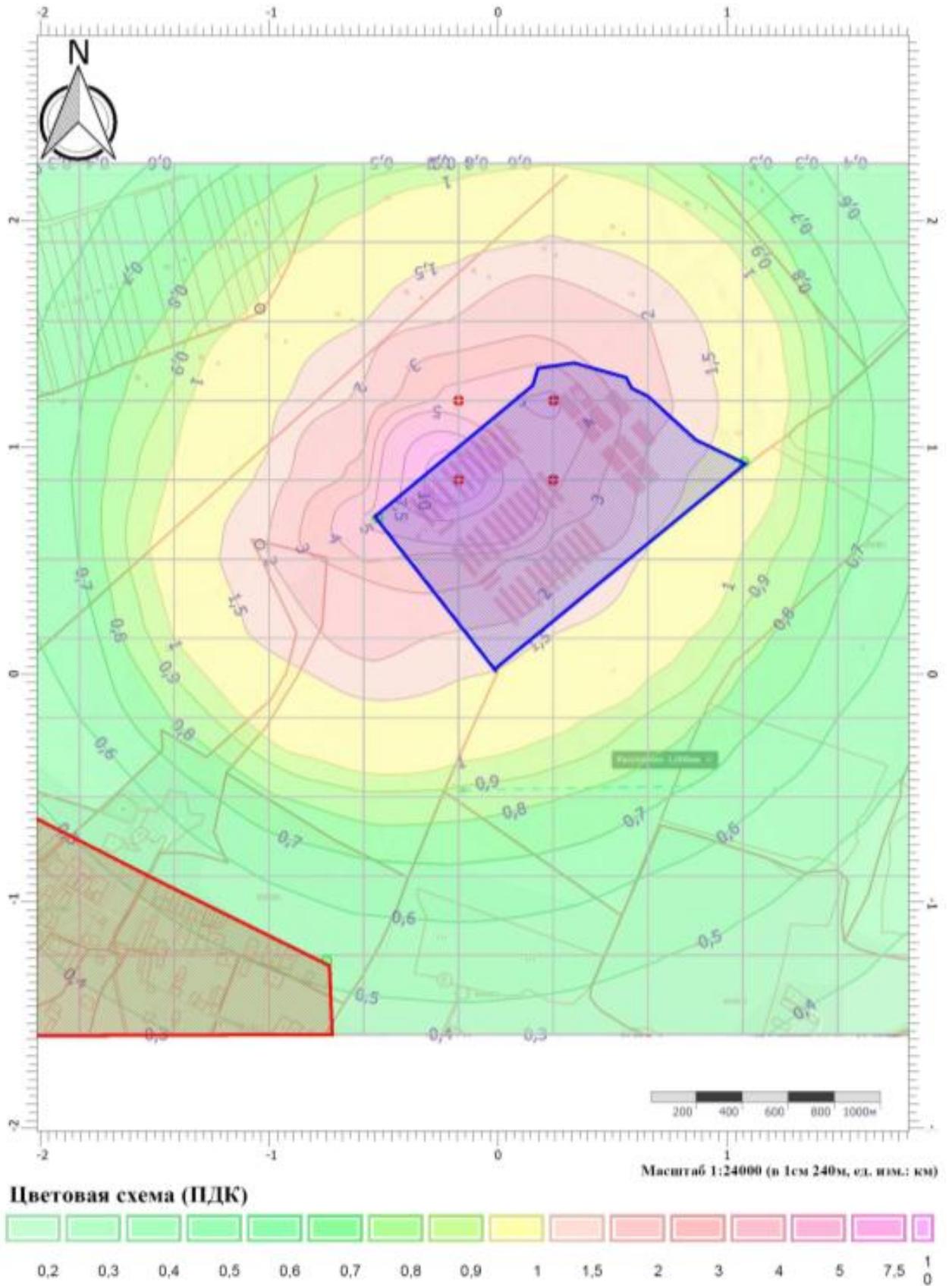


Рисунок 5.5 - Карта рассеивания выбросов аммиака, сероводорода

Как видно из рисунка 5.5, смесь тяжелых газов образует более обширную неблагоприятную зону распространения выбросов вредных и пахучих веществ, по сравнению с аммиаком (рисунок 5.2).

В результате измерения концентрации вредных веществ на приточных клапанах установлено наличие фоновой концентрации вредных веществ в пределах норм (30% ПДК), что свидетельствует о захвате приточной вентиляцией удаляемых из помещения вредных веществ.

В большей части корпусов выращивания (с 6 по 9 и в 11 и 12), уровень неприятных запахов превышает предел измерения ольфактометра, что в совокупности со значительными объемами выбрасываемого вытяжного воздуха, загрязненного аммиаком и сероводородом в концентрациях до 10 % ПДК, а аммиаком до 25 % ПДК может создавать неблагоприятные условия как для проживающих в окрестных населенных пунктах, так и для выращиваемых животных.

Следует так же отметить, что представленные карты рассеивания построены на данных замеров только в отдельной части 12 корпусов, без учета выбросов еще 24-х и лагун накопления навозных стоков. Поэтому с уверенностью можно утверждать, что выбросы от свинокомплекса «Оскольский бекон-3» существенно больше и, следовательно, оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Именно поэтому постоянно поступают жалобы не только от жителей расположенного рядом села Хорошилово, но и от жителей г. Старый Оскол.

5.2 Расчет сметной стоимости и оценка экологической эффективности разработанной системы вентиляции

Постоянное совершенствование техники и технологии сопровождается значительными дополнительными капитальными вложениями.

Внедрение новой техники и технологии будет оправдано лишь тогда, когда оно ведет к снижению себестоимости продукции, повышению производительности труда или повышению качества продукции.

Основная цель экономической оценки представленной в данной работе энергоэффективной системы вентиляции заключается в подсчете сметной стоимости на монтаж и установку элементов разработанной приточно-вытяжной системы, а также в определении стоимости используемого в данной системе оборудования (тепло-массообменная установка, тепловой насос, вентиляторы).

При помощи программного комплекса ГРАНД-Смета (версия 2024.2) ресурсно-индексным методом была определена стоимость монтажа запроектированной системы вентиляции применительно для Белгородской области с учетом коэффициентов на II квартал 2024 года. Данный расчет представлен в приложении В.

Была установлена стоимость одной тепло-массообменной установки по типу «труба в трубе», которая составила 176 089, 26 руб. В данной работе применяется 2 таких установки, тогда стоимость будет равна 352 178, 52 руб. Коммерческое предложение для покупки рекуператора представлено в приложении Г.

Также на сайте производителей была определена стоимость вентиляторов. Общая стоимость оборудования и работ по монтажу систем приведена в сводной таблице 5.3, в которой не представлены затраты на источник теплоснабжения, так как в качестве него может быть использован тепловой насос, централизованный источник теплоснабжения и др.

Таблица 5.3 – Общая стоимость оборудования и работ по монтажу системы вентиляции

№ п/п	Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб.
1	Монтажные работы		
1.1	Приточная система П-1	1	149 460, 06
1.2	Вытяжная система В-1	1	195 337, 23
1.3	Приточная система П-2	1	149 460, 06
1.4	Вытяжная система В-2	1	195 337, 23
	Всего с НДС:		827 513,50
2	Тепло-массообменное устройство по типу «труба в трубе»	2	352 178, 52
3	Вентилятор ВР-80-75-4	4	93 184, 00
	Итого:		1 273 876, 02

В основе экологической эффективности (ЭЭ) лежит анализ воздействия отходов жизнедеятельности животных свиноводческого комплекса на окружающую среду и определение мер по улучшению экологической ситуации на различных этапах производственного цикла. В современных условиях возрастающей обеспокоенности экологическими проблемами и требованиями к устойчивому развитию, оценка экологической эффективности становится важнейшим элементом стратегии любого предприятия.

Экологический эффект предполагает использование количественных и качественных методов для анализа таких факторов, как выбросы загрязняющих веществ, а также уровень воздействия на биоразнообразие и климат.

Цель данного процесса – выявить этапы жизненного цикла животных, на которых экологические показатели могут быть улучшены, минимизировать воздействие на окружающую среду, повысить ресурсную эффективность и внедрить технологии, способствующие снижению углеродного следа и сохранению природных ресурсов. Оценка ЭЭ также позволяет предприятиям не только соблюдать законодательные требования в области охраны окружающей среды, но и повысить свое производство за счет внедрения инноваций и экологически чистых решений.

Способы повышения экологической эффективности, рассмотренные в данной работе, связаны с разработкой комплексного подхода и системных решений, направленных на создание более устойчивого использования

природных ресурсов и минимизации экологических рисков. Предложен алгоритм (рисунок 5.6) комплексной системы создания параметров микроклимата в животноводческих помещениях, включающий организацию приточно-вытяжной системы вентиляции с использованием технологии биоремедиации.



Рисунок 5.6 – Алгоритм комплексной системы создания параметров микроклимата в животноводческих помещениях с элементами охраны воздушного бассейна

Использование полученного алгоритма позволяет произвести оценку экологической эффективности снижения концентрации вредных газов, поступающих в помещение в процессе жизнедеятельности животных.

Для проведенных исследований в данной научной работе установлено снижение концентрации сероводорода на 98% после внесения биодеструкторов в ванны содержания животных уже на 5-й день эксперимента. Также здесь наблюдается снижение концентрации аммиака на $\approx 20\%$.

После организации энергоэффективной системы вентиляции, включающей ТМУ, удаляемый из помещения воздух, загрязненный аммиаком, поступает в рекуператор, в результате чего при контакте с конденсатом, концентрация аммиака в выбрасываемом в атмосферу воздухе уменьшается еще на 35-40%.

С целью предотвращения распространения неприятных запахов на прилегающих к свиноводческому комплексу территориях, производится внесение биодеструкторов в лагуны (навозосборники), тем самым снижая уровень запахов до слабо ощутимых.

5.3 Разработка энергоэффективной программы расчета системы вентиляции животноводческого помещения свиноводческого комплекса

Разработана программа расчета комплексной системы вентиляции животноводческого помещения свиноводческого комплекса, включающей тепло-массообменное устройство для утилизации тепла и влаги в удаляемом воздухе. Алгоритм расчета данной программы представлен на рисунке 5.7.

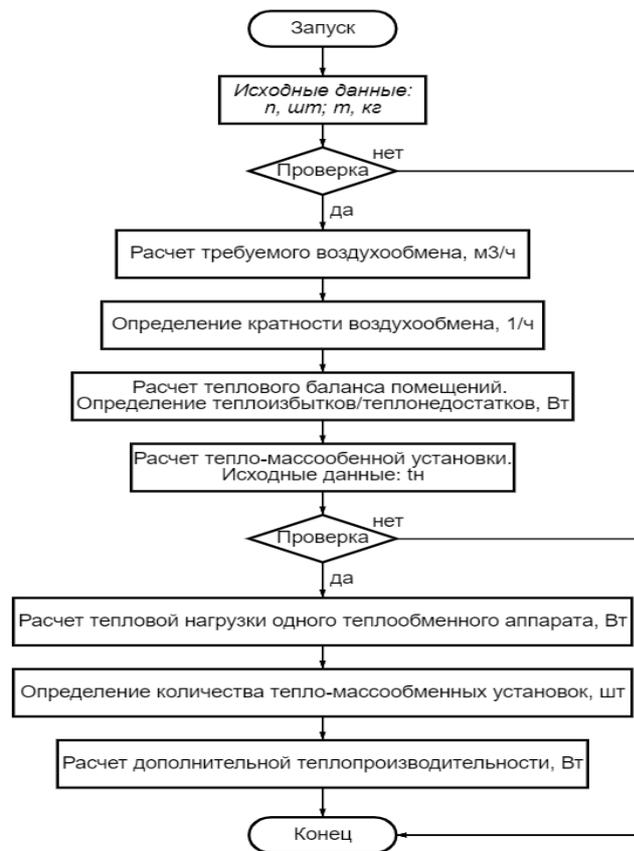


Рисунок 5.7 – Алгоритм расчета системы вентиляции животноводческих помещений, включающей ТМУ

Программа предназначена для расчета производительности системы вентиляции с учетом поступлений тепла, влаги и вредных газов в зависимости от количества животных и их живой массы. Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- расчет теплового баланса помещения и определение количества теплоты, необходимого для подготовки приточного воздуха;

- определение количества тепло-массообменных установок в системе в зависимости от температуры наружного воздуха;
- расчет теплопроизводительности дополнительного источника энергии (теплового насоса и т.п.);
- вывод расчетного воздухообмена, дефицита тепла, тепловой нагрузки теплообменного аппарата, количества установок и теплопроизводительности дополнительного источника энергии на экран;
- проверка правильности вычисления.

Программа расчета комплексной системы вентиляции животноводческих помещений представлена в приложении Д. Методика расчета и результаты программы для ЭВМ внедрены в практике проектирования ООО «Интеллектуальные теплоэнергетические системы» (приложение Е).

Экономическая и экологическая эффективность разработок заключается в снижении на 15-20 % энергетических затрат за счет утилизации теплоты в удаляемом воздухе. После внесения биодеструкторов в ванны корпусов содержания животных происходит снижение концентрации сероводорода на 98% от первоначальной ($0,6 \text{ мг/м}^3$). Концентрация аммиака до реализации предложенных мероприятий составляла $4,8 \text{ мг/м}^3$. При использовании технологии биоремедиации, а также после взаимодействия загрязненного аммиаком воздуха с конденсатом в ТМУ, концентрация аммиака снизится практически на 70 % от начального значения. В результате на выбросе в атмосферу она составит $1,5 \text{ мг/м}^3$.

Результаты разработанной программы расчета комплексной системы вентиляции животноводческих помещений, а также методика расчета теплопроизводительности и коэффициента трансформации теплонасосной установки при различных температурах наружного воздуха (приложение Ж) внедрены в учебный процесс БГТУ им. В.Г. Шухова (приложение И) и используются при проведении лабораторных, практических и лекционных занятий.

5.4 Выводы

1. На базе свинокомплекса «Оскольский бекон-3» ООО «АПК «ПромАгро» проведены испытания трех биопрепаратов для снижения выделений запахов в лагунах («Nonfeter», «Санвит-К-форте», «Бактофор-3»).

2. Установлено, что эффективность по запахам у всех трех препаратов практически одинаковая. Доказано, что при повышенных дозировках биодеструкторов (около 35 мл концентрата на 1 м³ навозостока) имеет место высокоэффективное снижение запаха и обеззараживание стоков за короткий период карантирования.

3. Для оценки содержания вредных веществ в помещениях для откорма свиней и на выбросе вентиляционных шахт корпусов свинокомплекса выполнены измерения концентрации угарного газа, двууглекислого газа, оксида азота, оксида серы, метана, сероводорода и аммиака.

4. На основании полученных данных выполнен расчет рассеивания вредностей на территориях, прилегающих к свинокомплексу. Установлено, что смесь тяжелых газов образует более обширную неблагоприятную зону распространения выбросов вредных веществ, по сравнению с аммиаком.

5. Произведен ориентировочный расчет сметной стоимости разработанной системы вентиляции, которая составила $\approx 1,3$ млн руб. Установлена экономическая и экологическая эффективность разработок.

5. Предложен алгоритм комплексной системы создания параметров микроклимата в животноводческих помещениях, включающий организацию приточно-вытяжной системы вентиляции с использованием технологии биоремедиации. Разработана программа расчета энергоэффективной системы вентиляции животноводческого помещения свиноводческого комплекса, включающей тепло-массообменное устройство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы, научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Проведен анализ экологической обстановки на территории животноводческих комплексов. Представлена классификация свиноводческих комплексов и способов создания требуемых параметров микроклимата в производственных помещениях, необходимых как для жизнедеятельности свиней, так и обеспечения требований охраны окружающей среды. На большинстве предприятий используется естественная вентиляция, которая не обеспечивает выполнение санитарных норм.

2. На примере свиноводческого комплекса «Оскольский бекон-3» рассмотрено численное моделирование распределения воздушных потоков, проведенное с использованием программного комплекса SolidWorks Flow Simulation. Исследования показали, что при естественной вентиляции в холодный период года область холодного воздуха с температурой 10-13 °С находится в рабочей зоне пребывания животных и работающего персонала, что создает некомфортные условия. Подвижность воздуха немного завышенная (0,5-0,6 м/с), что в совокупности с низкой температурой может провоцировать заболевания животных. Также и в теплый период года параметры микроклимата не соответствуют нормативным, так как температура в зоне содержания поголовья составляет 35-40 °С.

3. С учетом количественного соотношения газовых выделений и тепlopоступлений в производственном помещении разработана наиболее рациональная система организации механической вентиляции с забором 30% объема удаляемого воздуха из нижней и 70 % объемного расхода воздуха из верхней части производственного помещения, с возможным изменением данного соотношения не более 5%. Это позволит удалять концентрирующуюся в верхней зоне избыточную теплоту и предотвратит образование застойных зон вредных

газов с высокой плотностью в зоне содержания животных в нижней части помещения.

4. Разработана система вентиляции животноводческих помещений, включающая тепловой насос для подготовки воздуха в теплый и холодный периоды года, а также тепло-массообменное устройство для утилизации избытков тепла, влаги и улавливания паров аммиака (патент № 2799158, РФ). Произведен расчет приточно-вытяжной вентиляции производственного цеха при выбранном способе организации воздухообмена, подобрано вентиляционное оборудование.

5. С помощью теории подобия разработана экспериментальная тепло-массообменная установка типа «труба в трубе». Проведены исследования тепло- и массообменных процессов при различных теплофизических и гидродинамических параметрах воздушных сред, на основании которых получено уточненное критериальное уравнение, позволяющее рассчитывать количество утилизируемой теплоты в системе вентиляции свиноводческих помещений. Исследования процессов улавливания аммиака в экспериментальной тепло-массообменной установке подтвердили расчетные зависимости концентрации аммиака в растворе, образуемом в реальных условиях животноводческих помещений.

6. С целью удаления вредных запахов из помещений содержания животных исследованы биодеструкторы запахов, действие которых основано на использовании биохимического потенциала микроорганизмов для детоксикации загрязняющих веществ или снижения их концентрации в окружающей среде. В лабораторных условиях были произведены исследования 6 препаратов («Экомик Про-В», «Эмбионик», «Бактофор-3», «Санвит», «Санвит-К» и «Эминекст»). Получены зависимости снижения концентрации сероводорода, аммиака и углекислого газа от вида биодеструктора и времени воздействия. Установлено, что наиболее эффективными добавками для снижения концентрации выделяемого в помещениях аммиака и сероводорода являются препарат «Экомик Про-В» и препарат «Эминекст», которые целесообразно использовать в технологии биоремедиации.

7. Разработана программа расчета энергоэффективной системы вентиляции животноводческого помещения свиноводческого комплекса, включающей тепло-массообменное устройство, и расчета теплопроизводительности теплонасосной установки для подготовки воздуха в теплый и холодный периоды года (свидетельство № 2023666853). Разработан алгоритм создания параметров микроклимата в производственных помещениях животноводческого комплекса с элементами охраны воздушного бассейна. Экономическая и экологическая эффективность разработок заключается в снижении на 15-20 % энергетических затрат за счет утилизации теплоты в удаляемом воздухе. При использовании технологии биоремедиации происходит снижение концентрации сероводорода на 98% от первоначальной ($0,6 \text{ мг/м}^3$). Концентрация аммиака на выбросе в атмосферу составит $1,5 \text{ мг/м}^3$, что практически на 70 % ниже базовой. Методика расчета и результаты программы для ЭВМ внедрены в практике проектирования ООО «Интеллектуальные теплоэнергетические системы» г. Белгород.

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы могут быть **рекомендованы** для разработки и внедрения инновационных решений в области создания комфортно-технологических условий в животноводческих помещениях и охраны воздушного бассейна.

Перспективы дальнейшей разработки темы связаны с совершенствованием технологий и методов, направленных на улучшение условий содержания животных и обеспечение высокого качества микроклимата в помещениях с использованием современных систем мониторинга качества воздуха, а также с учетом адаптации технологий к различным климатическим условиям и типам животноводческих помещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Andreev, L. Energy efficient technologies of microclimate creation in animal husbandry / L. Andreev, V. Yurkin // International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" 2017 (AIME 2017). Atlantis Press. - 2017. - P. 61-66.
2. Costa, A. Ammonia concentrations and emissions from finishing pigs reared in different growing rooms / A. Costa // Journal of environmental quality. - 2017. - T. 46. - №. 2. - P. 255-260.
3. Estellés, F. Air scrubbing techniques for the reduction of gaseous emissions from livestock farms / F. Estellés // Actual knowledge in the Netherlands and possibilities for implementation on Spanish farms. - 2009.
4. Gordeev, V. Use of ventilation emissions from animal barn for improvement of plant growth / V. Gordeev, V. Mironov // Carbon. - 2014. - T. 3. - 4p.
5. Guo, L. Mitigation strategies of air pollutants for mechanical ventilated livestock and poultry housing - A review/ L. Guo // Atmosphere. - 2022. - T. 13. - №. 3. - 452p.
6. Izhboldina, O. Effectiveness of additional mechanical ventilation in naturally ventilated dairy housing barns during heat waves / O. Izhboldina // Ukrainian Journal of Ecology. - 2020. - T. 10. - №. 3. - P. 56-62.
7. Jo, G. Ammonia emission characteristics of a mechanically ventilated swine finishing facility in Korea / G. Jo // Atmosphere. - 2020. - T. 11. - №. 10. - P. 1088.
8. Kavolelis, B. Influence ventilation rate on ammonia concentration and emission in animal house / B. Kavolelis // Polish Journal of Environmental Studies. - 2003. - T. 12. - №. 6. - P. 709-712.
9. Melse, R.W. Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands / R.W. Melse, N.W.M. Ogink // Transactions of the ASAE. - 2005. - T. 48. - №. 6. - P. 2303-2313.
10. Mykhalko, O. Influence of ventilation system type on microclimate parameters in farrowing room and reproductive qualities of pigs 2023.

11. Ogbuewu, I.P. Livestock waste and its impact on the environment / I.P., Ogbuewu, V.U. Odoemenam, A.A. Omede // Scientific Journal of review. - 2012. - Т. 1. - №. 2. - P. 17-32.
12. Philippe, F.X. Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques / F.X. Philippe, J.F. Cabaraux, B. Nicks // Agriculture, ecosystems & environment. - 2011. - Т. 141. - №. 3-4. - P. 245-260.
13. Sakadevan, K. Livestock production and its impact on nutrient pollution and greenhouse gas emissions / K. Sakadevan, M. L. Nguyen // Advances in agronomy. - 2017. - Т. 141. - P. 147-184.
14. Tabase, R.K. Effect of ventilation control settings on ammonia and odour emissions from a pig rearing building / R.K. Tabase // Biosystems engineering. - 2020. - Т. 192. - P. 215-231.
15. Tabase, R.K. Effect of ventilation settings on ammonia emission in an experimental pig house equipped with artificial pigs / R.K. Tabase, S. Millet, E. Brusselman [et al.] // Biosystems engineering. - 2018. - Т. 176. - P. 125-139.
16. Алямовский, А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов [и др.] // СПб.: БХВ-Петербург, 2008. - 1040 с.
17. Алямовский, А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации / А.А. Алямовский. М.: ДМК Пресс, 2014. - 562 с.
18. Андреев, Л.Н. Мониторинг состояния воздушной среды вблизи крупных животноводческих комплексов Тюменской области / Л.Н. Андреев, Е.А. Басуматорова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2020. - № 5 (85). - С. 179-181.
19. Андрианов, Е.А. Организация вентиляции животноводческих помещений с использованием ресурсосберегающих технологий / Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов, А.А. Андрианов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2014. - №. 4. - С. 91-97.

20. Ашихмина, Т.В. Геоэкологический мониторинг накопленного экологического вреда при обращении с отходами животноводства в Воронежской области / Т.В. Ашихмина, Н.В. Каверина // Региональные геосистемы. - 2022. - Т. 46. - №. 4. - С. 596-614.

21. Беззубов, В.И. Биопрепарат Бактосток – эффективное средство для очистки и обеззараживания навозных стоков свиноводческих комплексов / В.И. Беззубов, А.С. Петрушко, Д.Н. Ходосовский [и др.] // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. - 2014. - №17 (2).

22. Биказинов, Е.М. Особенности расчета систем вентиляции для животноводческих помещений / Е.М. Биказинов // Инновационные технологии в АПК, как фактор развития науки в современных условиях. - 2020. - С. 62-66.

23. Бухмиров, В.В. Тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата / В.В. Бухмиров, Д.В. Ракутина, Ю.С. Солнашкова, М.В. Пророкова. Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2013. - 124 с.

24. Васенин, В.Н. Разработка системы утилизации вентиляционных выбросов животноводческих комплексов / В.Н. Васенин, А.Д. Каменских // Интеллектуальный потенциал общества как драйвер инновационного. - 2019. - С. 40.

25. Васильев, А.М. Технология промышленного свиноводства / А.М. Васильев, А.И. Рудаков, В.В. Калюга. Ленинград: Колос. Ленингр. отд-ние. - 1976. - 279 с.

26. Герасимов, Ю.И. Теплообменные аппараты и системы теплообмена / Ю.И. Герасимов [и др.] ; М.: Академия, 2007.

27. Гордеев, В.В. Способы снижения негативного воздействия на окружающую среду от ферм крупного рогатого скота / В.В. Гордеев, Т.И. Гордеева, В.Н. Миронов, Т.Ю. Миронова // Региональная экология. - 2015. - № 5 (40). - С. 12-14.

28. Гриднева, Т.Т. Эмиссия вредных газов при производстве животноводческой продукции / Т.Т. Гриднева // Вестник ВНИИМЖ. - 2012. - № 4 (8). - С. 61-69.

29. Демиденко, Н.Д. Моделирование и вычислительные технологии распределенных систем: [монография] / Н.Д. Демиденко, В.А. Кулагин, Ю.И. Шокин. Новосибирск: Наука, 2012. - 424 с.
30. Дорожинский, И.С. Вентиляция свинарников в условиях современного животноводства / И.С. Дорожинский. М.: Колос, 2010. - 220 с.
31. Евраев, Д.А. Анализ энергоэффективности известных видов рекуператоров / Д.А. Евраев, Т.Н. Ильина // Перспективные гуманитарные, социальные и экономические исследования: Сборник статей международной научной конференции, Омск, 25 мая 2023 года. Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Международный институт перспективных исследований имени Ломоносова». - 2023. - С. 46-49.
32. Евстюничев, М.А. Особенности сырьевой базы Белгородской области для производства биогаза / М.А. Евстюничев, Т.Н. Ильина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2013. - № 5. - С. 170-173.
33. Евстюничев, М.А. Перспективы использования отходов сахарных предприятий Белгородской области для производства биогаза / М.А. Евстюничев, Т.Н. Ильина // Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов: сб. докл. Междунар. молодежной конф., Белгород, 12-14 ноябр., 2013 г. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2013. - Ч.1. - С. 254-256.
34. Иванов, И.Е. Методы подобия физических процессов: учеб. пособие / И.Е. Иванов, В.Е. Ерещенко. М.: МАДИ, 2015. - 144 с.
35. Иванов, П.Н. Вентиляция животноводческих помещений: современные технологии и методы улучшения / П.Н. Иванов. Москва: Колос, 2017.
36. Игнаткин, И.Ю. Системы вентиляции и влияние параметров микроклимата на продуктивность свиней / И.Ю. Игнаткин, М.Г. Курячий // Вестник НГИЭИ. - 2012. - № 10 (17). - С. 16-34.
37. Игнатова, Е.В. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронное издание]: Курс лекций / Е.В. Игнатова. Красноярск: СибГТУ, 2015. - 243 с.

38. Ильин, И.В. Инновационная технология очистки вентиляционных выбросов животноводческих комплексов / И.В. Ильин, А.А. Путан, А.В. Архипцев // Эффективное животноводство. - 2017. - №. 9. - С. 68-69.
39. Ильин, Р.М. Распределение аммиака в коровниках с естественной системой вентиляции / Р.М. Ильин, С.В. Второй // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. - 2020. - № 2 (103). - С. 91-98.
40. Ильина, Т.Н. Анализ и способы утилизации вторичных энергоресурсов нефтеперерабатывающего предприятия / Т.Н. Ильина, Д.Н. Бельмаз // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2014. - №3. - С. 170-173.
41. Ильина, Т.Н. Анализ способов повышения экологической безопасности животноводства / Т.Н. Ильина, М.С. Колесников // Межвузовский международный конгресс. Высшая школа: научные исследования. Москва, 10 декабря. - 2020г. - Т. 1. - С. 160-166.
42. Ильина, Т.Н. Моделирование процессов вентиляции малых объемов со значительными тепло- и влаговыделениями / Т.Н. Ильина, А.Ю. Феоктистов, Ю.А. Феоктистов, В.М. Дегтев, В.В. Шатерников // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. - 2009. - №1. - С. 51-56.
43. Ильина, Т.Н. Моделирование процессов теплообмена в рекуператоре типа «Труба в трубе» / Т.Н. Ильина, В.А. Уваров, М.С. Колесников, Д.А. Евраев, В.С. Кретьова // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. - 2024. - №1. - С. 30-37.
44. Ильина, Т.Н. О климатических установках транспортных средств птицеводческой отрасли / Т.Н. Ильина, А.Ю. Феоктистов, В.М. Дегтев, В.В. Шатерников // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2009. - №1. - С. 145-150.
45. Ильина, Т.Н. О способах обеспечения воздухообмена в цехах животноводческих комплексов / Т.Н. Ильина, М.С. Колесников, И.В. Крюков, П.А. Орлов // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. - 2023. - №3. - С. 46-53.
46. Ильина, Т.Н. Об экологической обстановке на территории свиного комплекса «Оскольский бекон-3» / Т.Н. Ильина, Ю.Е. Щедрина, А.Ю.

Феоктистов, М.С. Колесников, Д.А. Евраев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2022. - №3. - С. 32-41.

47. Ильина, Т.Н. Об эффективности применения биодеструкторов запахов на свиноводческих комплексах / Т.Н. Ильина, М.С. Колесников, А.Ю. Феоктистов // Экология промышленного производства. - 2022. - №3. - С. 58-62.

48. Ильина Т.Н. Организация воздушного отопления в галереях животноводческих комплексов / Т.Н. Ильина, М.А. Лесунова, Ю.В. Божко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2010. - №1. - С. 129-131.

49. Ильина, Т.Н. Современный подход решения проблемы переработки отходов АПК в Белгородской области / Т.Н. Ильина, М.А. Евстюничев // Сборник научных трудов по материалам Междунар. научно-практ. конф. 1 апреля 2013 г., часть 5. Мин-во обр. и науки М.: «АР-Консалт», 2013. - С. 66-67.

50. Ильина, Т.Н. Технологии энергосбережения в системах создания микроклимата теплиц и оранжерей / Т.Н. Ильина, Д.С. Заика // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Сборник докладов, Белгород, 20–21 мая 2024 года. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 29-34.

51. Калекин, В.С. Гидравлика и теплотехника: учебное пособие для вузов / В.С. Калекин, С.Н. Михайлец ; 2-3 изд. Москва: Изд-во Юрайт; Омск: Изд-во ОмГТУ, 2019. - 318 с.

52. Ковалева, О.В. Оценка влияния животноводческого комплекса на атмосферный воздух / О.В. Ковалева, Н.В. Санникова, О.В. Шулепова // Рациональное использование природных ресурсов: теория, практика и региональные проблемы. - 2021. - С. 12-18.

53. Козлов, А.В. Современные методы вентиляции и очистки воздуха в животноводческих комплексах / А.В. Козлов // Материалы конференции «Биотехнологические и ветеринарные аспекты животноводства». -2020. - С. 25-31.

54. Колесников, М.С. Анализ способов организации приточно-вытяжной вентиляции на свиноводческих комплексах / М.С. Колесников, Т.Н. Ильина, Д.А. Евраев // XIV международная научно-практическая конференция студентов,

аспирантов и молодых ученых. Молодежь и научно-технический прогресс. - 2021. – Т. 1. - С. 480-484.

55. Коротченко, И.С. Биоремедиация: учеб пособие / И.С. Коротченко // Красная. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2020. - 246 с.

56. Коршева, А.С. Совершенствование вакуум-эжекторного метода для обеззараживания загрязненных яйцами гельминтов сточных вод: автореф. дис. канд. техн. наук. Новочеркасск: НГМА, 2012. - 23 с.

57. Краснова, В.Л. Перспективные способы утилизации вентиляционных выбросов животноводческих помещений / В.Л. Краснова, Е.Е. Хазанов, А.Е. Маркова, В.В. Гордеев // Сборник научных трудов СЗНИИМЭСХ. - 2004. - Вып. 76. - С. 131-137.

58. Криволапов, И.П. Исследование эффективности очистки воздуха в животноводческих комплексах от аммиака и сероводорода / И.П. Криволапов, М.С. Колдин, С.Ю. Щербаков // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. -2016. - №. 3(11). - С. 9-18.

59. Кузнецов, М.Ю. Основы проектирования ветеринарных учреждений и животноводческих объектов: учебно-методическое пособие / М.Ю. Кузнецов, Ю.А. Гусева. ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2017. - 69 с.

60. Липин, А.А. Расчет теплообменных аппаратов. Кожухотрубчатые теплообменники: учеб. пособие / А.А. Липин, Ю.Е. Романенко, А.В. Шибашов, А.Г. Липин. Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2017. - 76 с.

61. Медведский, В.А. Гигиена животных / В.А. Медведский, Г.А. Соколов, А.Ф. Трофимов [и др.] // Минск: Техноперспектива. - 2009. - 617 с.

62. Минко, В.А. Анализ способов утилизации тепла от технологического оборудования в системах создания микроклимата производственных цехах молочных комбинатов / В.А. Минко, Т.Н. Ильина, О.Н. Потапова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2009. - №4.

63. Миронов, В.Н. Очистка воздуха животноводческого помещения в культивационных сооружениях / В.Н. Миронов, В.В. Гордеев, Т.Ю. Миронова // Вестник ВНИИМЖ. – 2012. - №4(8). - С. 69-72.

64. Моряшов, А.А. Тепломассообменные процессы и установки: Метод. указания по выполнению курсовой работы/ А.А. Моряшов. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. - 28 с.

65. Найденко, В.К. Совершенствование технологий на свинофермах и свинокомплексах / В.К. Найденко // Перспективное свиноводство: Теория и практика. - 2011. - №2. - С. 6-15.

66. Найденко, В.К. Рекомендации по оценке экологической безопасности свиноферм / В.К. Найденко // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. - 2016. - №89. - С. 146-157.

67. Найденко, В.К. Уменьшение негативного воздействия свиноводческих предприятий на окружающую среду / В.К. Найденко // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. - 2015. - №87. - С. 201-211.

68. Найденко, В.К. Предпосылки к использованию прогрессивных технологий и технических средств на модульных свинофермах / В.К. Найденко, А.В. Трифанов // Вестник ВНИИМЖ. - 2013. - №4 (12). - С. 23-31.

69. Найденко, В.К. Усовершенствованные технологии и технические средства содержания свиней / В.К. Найденко, А.В. Трифанов, С.Н. Даричев [и др.] // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. - 2008. - №80. - С. 136-143.

70. Найденский, М.С. Зоогигиена с основами проектирования животноводческих объектов / М.С. Найденский, А.Ф. Кузнецов. М.: Колосс, - 2007.

71. Пат. 2424985 МПК СО2F 1/58 Способ подготовки жидких отходов животноводческих комплексов для сельскохозяйственного использования / О.А. Суржко, Ю.Е. Домашенко. Заявка 2009114816/05, 13.04.2009; опубл. 27.07.2011, Бюл. №21.

72. Пат. 2725235 Российская Федерация МПК СО2F 1/52 Способ подготовки жидких отходов животноводческих комплексов для

сельскохозяйственного использования / Т.А. Колесников, М.А. Куликова, Е.А. Грибут, О.А. Суржко. Заявка 2018131280, 29.08.2018; опубл. 21.11.2019, Бюл. №33.

73. Пат. 2799158 С1, Российская Федерация, МПК F24F 7/06 Система вентиляции животноводческих помещений / Т.Н. Ильина, М.С. Колесников, П.А. Орлов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова"; № 2022134301; заявл. 26.12.2022; опубл. 04.07.2023, Бюл. №19. - 9 с.

74. Петров, И.К. Влияние сероводорода на здоровье свиней в условиях промышленного производства / И.К. Петров // Журнал ветеринарии. - 2016. - № 4. - С. 55-61.

75. Попов, Л.А. Теплообменные аппараты и системы / Л.А. Попов [и др.] ; М.: Высшая школа, 2012.

76. Посохин, В.Н. Аэродинамика вентиляции / В.Н. Посохин. М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. - 212 с.

77. Приданцев, А.С. Тепломассообменные аппараты низкотемпературных установок: учебно-методическое пособие / А.С. Приданцев, Д.Д. Ахметлатыпова, А.А. Сагдеев. // Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ». - 2013. - 88 с.

78. Пташкина-Гирина, О.С. Энергосберегающие технологии применения теплового насоса в системе вентиляции животноводческих помещений / О.С. Пташкина-Гирина, О.А. Гусева, К.Н. Козырева // Энергетика и энергосбережение: теория и практика. - 2018. - С. 1621-1624.

79. РД-АПК 1.10.02.04-12 Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов.

80. РД-АПК 3.10.07.05-17 Ветеринарно-санитарные требования при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации животноводческих помещений.

81. Савельев, В.С. Управление качеством воздушной среды свинарников / В.С. Савельев // Вестник КрасГАУ. - 2019. - №7(147). - С. 245-251.
82. Свинарёв, И.Ю. Классификация и анализ эффективности работы систем вентиляции в свиноводстве / И.Ю. Свинарёв // Перспективное свиноводство: Теория и практика. - 2011. - №3.
83. Свинарев, И.Ю. Организация комплектования свиноводческих комплексов ремонтным молодняком / И.Ю. Свинарев, Н.В. Михайлов // Свиноводство. - 2012. - № 2. - С. 17-20.
84. Смирнов, А.А. Оценка аммиака в воздухе свинарников и методы его уменьшения / А.А. Смирнов // Актуальные проблемы ветеринарии и биотехнологии. - 2018. - №2(18). - С. 112-117.
85. СП 106.13330.2012 Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения.
86. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
87. СП 7.13130.2013 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования.
88. Староверов, И.Г. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2 ч. 4.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / под ред. И.Г. Староверова. М: Стройиздат, 1978. - С. 502.
89. Субботин, И.А. Утилизация навоза/помета на животноводческих фермах для обеспечения экологической безопасности территории, наземных и подземных водных объектов в Ленинградской области / И.А. Субботин, А.Ю. Брюханов, Д.А. Максимов [и др.]. Санкт-Петербург: Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, 2012. - 237 с.
90. Талиев, В.Н. Аэродинамика вентиляции: учеб. пособие для вузов, обучающихся по спец. "Теплогазоснабжение и вентиляция". Москва: Стройиздат, 1979. - 295 с.

91. Тарасов, С.И. Ремедиация почв, загрязненных отходами индустриального животноводства / С.И. Тарасов, М.Е. Кравченко // Экология и сельскохозяйственные технологии: агроинженерные решения. - 2011. - С. 58-64.
92. Тюрин, В.Г. Охрана окружающей среды на животноводческих предприятиях / В.Г. Тюрин, Г.А. Мысова, К.Н. Бирюков // Ветеринария. - 2019. - №. 7. - С. 3-8.
93. Ушакова, Н.А. Анаэробная твердофазная ферментация растительных субстратов с использованием *Bacillus subtilis* / Н.А. Ушакова // Прикладная биохимия и микробиология. - 2009. - Т. 45. - №. 1. - С. 70-77.
94. Фурсенко, С.Н. Организация воздухообмена в помещениях для содержания КРС, свиней и птицы [Электронный ресурс]. URL: https://studref.com/362934/tehnika/organizatsiya_vozduhoobmena_pomescheniyah_soderzhaniya_sviney_ptitsy.
95. Ходанович, Б.В. Проектирование и строительство животноводческих объектов / Б.В. Ходанович. Спб.: Лань, 2012.
96. Храмцов, В.В. Зоогигиена с основами проектирования животноводческих объектов / В.В. Храмцов. М.: Колос, 2007. - 376 с.
97. Чернова, С.Е. Влияние микроклимата в помещении на рост, развитие и откормочные качества молодняка свиней / С.Е. Чернова, В.С. Казаков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2014. - № 6 (50). - С. 127-129.
98. Чикалев, А.И. Зоогигиена с основами проектирования животноводческих объектов / А.И. Чикалев. Спб.: Лань, 2006.
99. Чикалѳв, А.И. Основы животноводства / А.И. Чикалѳв, Ю.А. Юлдашбаев. - 2015.
100. Шведов, В.В. Системы естественной вентиляции животноводческих помещений / В.В. Шведов. ВАСХНИЛ; ВНИИТЭИ Агропром. М.: 1991г. - 44 с.
101. Широкова О.Н. Вентиляция: учебно-методический комплекс (УМК) по вентиляции / О.Н. Широкова, Т.И. Королева. - 2015.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Патент № 2799158 «Система вентиляции животноводческих помещений»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2799158

Система вентиляции животноводческих помещений

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова" (RU)*

Авторы: *Ильина Татьяна Николаевна (RU), Колесников Максим Сергеевич (RU), Орлов Павел Анатольевич (RU), Евраев Дмитрий Андреевич (RU), Ечина Алина Олеговна (RU)*

Заявка № 2022134301

Приоритет изобретения 26 декабря 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 04 июля 2023 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 26 декабря 2042 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



Аэродинамический расчет вентиляционных систем

Система П1																		
№ уч.	L, м3/час	l, м	V, м/с	dp, мм	S _{гр} , м2	a, м	b, м	d, м	S _ф , м2	dэ, мм	V _{факт} , м/с	Re	λ	λ*I/d	Σξ	R _{дин} , Па	ΔP, Па	ΔP м-ль, Па
Главная магистраль																		
1	157	4,85	8	0,083	0,005	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,81479	2	2,8	8,0	8,0
2	314	4,75	8	0,118	0,011	-	-	0,160	0,020	0,160	4,3	46251	0,0235343	0,69867	0,5	11,3	13,5	21,5
3	471	4,75	8	0,144	0,016	-	-	0,160	0,020	0,160	6,5	69377	0,0220177	0,65365	0,5	25,4	29,3	50,8
4	628	4,75	8	0,167	0,022	-	-	0,180	0,025	0,180	6,9	82224	0,0212111	0,55974	0,6	28,2	32,7	83,6
5	785	4,75	8	0,186	0,027	-	-	0,200	0,031	0,200	6,9	92502	0,0206215	0,48976	0,6	28,9	31,5	115,1
6	942	4,75	8	0,204	0,033	-	-	0,225	0,040	0,225	6,6	98669	0,0201841	0,42611	0,6	26,0	26,7	141,8
7	1099	4,75	8	0,220	0,038	-	-	0,225	0,040	0,225	7,7	115114	0,0197308	0,41654	0,5	35,4	32,5	174,2
8	1256	4,75	8	0,236	0,044	-	-	0,250	0,049	0,250	7,1	118403	0,0194342	0,36925	0,6	30,3	29,4	203,7
9	1413	4,75	8	0,250	0,049	-	-	0,280	0,062	0,280	6,4	118931	0,0192037	0,32578	0,6	24,4	22,6	226,2
10	1570	4,75	8	0,264	0,055	-	-	0,280	0,062	0,280	7,1	132146	0,0189011	0,32064	0,5	30,1	24,7	251,0
11	1727	4,75	8	0,276	0,060	-	-	0,325	0,083	0,325	5,8	125234	0,018786	0,27456	0,6	20,1	17,6	268,5
12	1884	4,75	8	0,289	0,065	-	-	0,325	0,083	0,325	6,3	136619	0,018531	0,27084	0,5	23,9	18,4	287,0
13	2041	2	8	0,300	0,071	-	-	0,325	0,083	0,325	6,8	148003	0,0183068	0,11266	1,9	28,1	56,5	343,4
Ответвления																		
14	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
15	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
16	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
17	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
18	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
19	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
20	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
21	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
22	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
23	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
24	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
25	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	

Система В1																		
№ уч.	L, м3/час	l, м	V, м/с	dp, мм	Стр, м2	a, м	b,м	d,м	Sф, м2	dэ, мм	Vфакт, м/с	Re	λ	λ*/d	Σξ	Рдин, Па	ΔР, Па	ΔР м-ль, Па
Главная магистраль																		
1	41	3,3	8	0,043	0,001	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	3,9
2	136	4,2	8	0,078	0,005	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,66008	3,2	1,3	5,1	9,0
3	272	4	8	0,110	0,009	-	-	0,180	0,025	0,180	3,0	35613	0,0245101	0,54467	0,5	5,3	5,5	14,5
4	408	4	8	0,134	0,014	-	-	0,180	0,025	0,180	4,5	53419	0,0227466	0,50548	0,5	11,9	12,0	26,5
5	544	4	8	0,155	0,019	-	-	0,180	0,025	0,180	5,9	71226	0,0216848	0,48188	0,5	21,2	20,8	47,3
6	680	4	8	0,173	0,024	-	-	0,180	0,025	0,180	7,4	89032	0,0209643	0,46587	0,5	33,1	32,0	79,3
7	816	4	8	0,190	0,028	-	-	0,200	0,031	0,200	7,2	96155	0,0205039	0,41008	0,6	31,3	31,6	110,9
8	952	4	8	0,205	0,033	-	-	0,225	0,040	0,225	6,7	99716	0,0201518	0,35825	0,6	26,6	25,5	136,3
9	1088	4	8	0,219	0,038	-	-	0,225	0,040	0,225	7,6	113962	0,0197592	0,35127	0,5	34,7	29,5	165,9
10	1224	4	8	0,233	0,043	-	-	0,250	0,049	0,250	6,9	115386	0,0195087	0,31214	0,6	28,8	26,3	192,1
11	1360	4	8	0,245	0,047	-	-	0,250	0,049	0,250	7,7	128207	0,0192114	0,30738	0,5	35,6	28,7	220,9
12	1496	4	8	0,257	0,052	-	-	0,280	0,062	0,280	6,8	125917	0,0190376	0,27197	0,6	27,4	23,9	244,7
13	1632	4	8	0,269	0,057	-	-	0,280	0,062	0,280	7,4	137364	0,0187943	0,26849	0,5	32,6	25,0	269,7
14	1768	4	8	0,280	0,061	-	-	0,325	0,083	0,325	5,9	128207	0,0187161	0,23035	0,6	21,0	17,5	287,2
15	1904	4	8	0,290	0,066	-	-	0,325	0,083	0,325	6,4	138069	0,0185009	0,2277	0,5	24,4	17,8	305,0
16	2040	3	8	0,300	0,071	-	-	0,325	0,083	0,325	6,8	147931	0,0183081	0,169	1,2	28,0	38,4	343,3
Ответвления																		
17	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
18	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
19	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
20	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
21	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
22	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
23	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
24	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
25	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
26	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
27	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
28	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
29	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
30	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
31	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
32	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
33	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
34	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
35	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	

36	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
37	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
38	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
39	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
40	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
41	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
42	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
43	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
44	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	

Система П2																		
№ уч.	L, м3/час	l, м	V, м/с	dp, мм	Стр, м2	a, м	b, м	d, м	Sф, м2	dэ, мм	Vфакт, м/с	Re	λ	λ*/l/d	Σξ	Rдин, Па	ΔP, Па	ΔP м-ль, Па
Главная магистраль																		
1	157	4,85	8	0,083	0,005	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,81479	2	2,8	8,0	8,0
2	314	4,75	8	0,118	0,011	-	-	0,160	0,020	0,160	4,3	46251	0,0235343	0,69867	0,5	11,3	13,5	21,5
3	471	4,75	8	0,144	0,016	-	-	0,160	0,020	0,160	6,5	69377	0,0220177	0,65365	0,5	25,4	29,3	50,8
4	628	4,75	8	0,167	0,022	-	-	0,180	0,025	0,180	6,9	82224	0,0212111	0,55974	0,6	28,2	32,7	83,6
5	785	4,75	8	0,186	0,027	-	-	0,200	0,031	0,200	6,9	92502	0,0206215	0,48976	0,6	28,9	31,5	115,1
6	942	4,75	8	0,204	0,033	-	-	0,225	0,040	0,225	6,6	98669	0,0201841	0,42611	0,6	26,0	26,7	141,8
7	1099	4,75	8	0,220	0,038	-	-	0,225	0,040	0,225	7,7	115114	0,0197308	0,41654	0,5	35,4	32,5	174,2
8	1256	4,75	8	0,236	0,044	-	-	0,250	0,049	0,250	7,1	118403	0,0194342	0,36925	0,6	30,3	29,4	203,7
9	1413	4,75	8	0,250	0,049	-	-	0,280	0,062	0,280	6,4	118931	0,0192037	0,32578	0,6	24,4	22,6	226,2
10	1570	4,75	8	0,264	0,055	-	-	0,280	0,062	0,280	7,1	132146	0,0189011	0,32064	0,5	30,1	24,7	251,0
11	1727	4,75	8	0,276	0,060	-	-	0,325	0,083	0,325	5,8	125234	0,018786	0,27456	0,6	20,1	17,6	268,5
12	1884	4,75	8	0,289	0,065	-	-	0,325	0,083	0,325	6,3	136619	0,018531	0,27084	0,5	23,9	18,4	287,0
13	2041	2	8	0,300	0,071	-	-	0,325	0,083	0,325	6,8	148003	0,0183068	0,11266	1,9	28,1	56,5	343,4
Ответвления																		
14	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
15	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
16	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
17	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
18	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
19	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
20	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
21	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
22	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
23	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
24	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	
25	157	0,1	5	0,105	0,009	-	-	0,160	0,020	0,160	2,2	23126	0,0268795	0,0168	2	2,8	5,7	

Система В2																		
№ уч-ка	L, м3/час	l, м	V, м/с	dp, мм	Стр, м2	a, м	b, м	d, м	Sф, м2	dэ, мм	Vфакт, м/с	Re	λ	λ*/d	Σξ	Рдин, Па	ΔР, Па	ΔР м-ль, Па
Главная магистраль																		
1	41	3,3	8	0,043	0,001	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	3,9
2	136	4,2	8	0,078	0,005	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,66008	3,2	1,3	5,1	9,0
3	272	4	8	0,110	0,009	-	-	0,180	0,025	0,180	3,0	35613	0,0245101	0,54467	0,5	5,3	5,5	14,5
4	408	4	8	0,134	0,014	-	-	0,180	0,025	0,180	4,5	53419	0,0227466	0,50548	0,5	11,9	12,0	26,5
5	544	4	8	0,155	0,019	-	-	0,180	0,025	0,180	5,9	71226	0,0216848	0,48188	0,5	21,2	20,8	47,3
6	680	4	8	0,173	0,024	-	-	0,180	0,025	0,180	7,4	89032	0,0209643	0,46587	0,5	33,1	32,0	79,3
7	816	4	8	0,190	0,028	-	-	0,200	0,031	0,200	7,2	96155	0,0205039	0,41008	0,6	31,3	31,6	110,9
8	952	4	8	0,205	0,033	-	-	0,225	0,040	0,225	6,7	99716	0,0201518	0,35825	0,6	26,6	25,5	136,3
9	1088	4	8	0,219	0,038	-	-	0,225	0,040	0,225	7,6	113962	0,0197592	0,35127	0,5	34,7	29,5	165,9
10	1224	4	8	0,233	0,043	-	-	0,250	0,049	0,250	6,9	115386	0,0195087	0,31214	0,6	28,8	26,3	192,1
11	1360	4	8	0,245	0,047	-	-	0,250	0,049	0,250	7,7	128207	0,0192114	0,30738	0,5	35,6	28,7	220,9
12	1496	4	8	0,257	0,052	-	-	0,280	0,062	0,280	6,8	125917	0,0190376	0,27197	0,6	27,4	23,9	244,7
13	1632	4	8	0,269	0,057	-	-	0,280	0,062	0,280	7,4	137364	0,0187943	0,26849	0,5	32,6	25,0	269,7
14	1768	4	8	0,280	0,061	-	-	0,325	0,083	0,325	5,9	128207	0,0187161	0,23035	0,6	21,0	17,5	287,2
15	1904	4	8	0,290	0,066	-	-	0,325	0,083	0,325	6,4	138069	0,0185009	0,2277	0,5	24,4	17,8	305,0
16	2040	3	8	0,300	0,071	-	-	0,325	0,083	0,325	6,8	147931	0,0183081	0,169	1,2	28,0	38,4	343,3
Ответвления																		
17	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
18	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
19	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
20	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
21	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
22	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
23	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
24	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
25	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
26	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
27	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
28	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
29	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
30	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
31	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
32	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
33	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
34	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
35	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	

36	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
37	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
38	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
39	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
40	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
41	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
42	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	
43	41	3,3	5	0,054	0,002	-	-	0,100	0,008	0,100	1,5	9663	0,0329361	1,08689	2	1,3	3,9	
44	136	0,2	5	0,098	0,008	-	-	0,180	0,025	0,180	1,5	17806	0,0282893	0,03143	2,5	1,3	3,4	

Расчет сметной стоимости разработанной системы вентиляции

№ п/п	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество			Сметная стоимость, руб.				
				на единицу измерения	коэффициенты	всего с учетом коэффициентов	на единицу измерения в базисном уровне цен	индекс	на единицу измерения в текущем уровне цен	коэффициенты	всего в текущем уровне цен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Раздел 1. ПРИТОЧНАЯ СИСТЕМА П-1											
Воздуховоды (D=160мм, 180мм, 200мм, 225мм, 250мм, 280мм, 325мм)											
1	ГЭСН20-01-001-01	Прокладка воздуховодов из листовой оцинкованной стали и алюминия класса Н (нормальные) толщиной: 0,5 мм, диаметром до 200 мм	100 м2	0,44	1	0,44					
	Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15									
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			77,924					22 756,92
	1-100-32	Средний разряд работы 3,2	чел.-ч	154	1,15	77,924			292,04		22 756,92
	2	ЭМ									596,78
		ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,6072					221,51
	91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	0,48	1,15	0,24288			1 482,17		359,99
	4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	0,48	1,15	0,24288			430,88		104,65
	91.06.03-055	Лебедки электрические тяговым усилием 19,62 кН (2 т)	маш.-ч	0,34	1,15	0,17204			15,46		2,66
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,72	1,15	0,36432	477,92	1,21	578,28		210,68
	4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,72	1,15	0,36432			320,77		116,86
	91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	1,54	1,15	0,77924			30,09		23,45
	4	М									2 388,84
	01.1.01.09-0026	Шнур асбестовый общего назначения ШАОН, диаметр 8-10 мм	т	0,0009		0,00039	286 707,85	1,21	346 916,50		137,38
	01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,45		0,198	155,63	1,1	171,19		33,90
	01.7.15.03-0042	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	15		6,6	174,93	1,15	201,17		1 327,72
	01.7.19.04-0031	Прокладки резиновые (пластина техническая прессованная)	кг	8		3,52	138,50	1,38	191,13		672,78

14.5.04.03-0002	Мастика герметизирующая нетвердеющая из синтетического каучука для заполнения и герметизации швов стеклянного ограждения теплиц	т	0,005		0,0022	56 057,93	1,76	98 661,96	217,06	
Итого прямые затраты									25 964,05	
ФОТ									22 978,43	
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				25 023,51	
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2				14 062,80	
Всего по позиции								147 841,73	65 050,36	
2	ФСБЦ-19.1.01.03-0071	Воздуховоды из оцинкованной стали, прямой участок, толщина 0,5 мм, диаметр до 200 мм	м2	13,47	1	13,47	851,42	1,03	876,96	11 812,65
Всего по позиции									11 812,65	
3	ФСБЦ-19.1.01.03-0072	Воздуховоды из оцинкованной стали, прямой участок, толщина 0,5 мм, периметр до 600 мм	м2	30,53	1	30,53	716,11	1,03	737,59	22 518,62
Всего по позиции									22 518,62	
Фасонные изделия - отводы, тройники, переходы (D=160мм, 180мм, 200мм, 225мм, 225мм, 250мм, 280мм, 325мм)										
4	ГЭСН20-01-001-01	Прокладка воздуховодов из листовой оцинкованной стали и алюминия класса Н (нормальные) толщиной: 0,5 мм, диаметром до 200 мм	100 м2	0,0535	1	0,0535				
Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15									
1	ОТ(ЗТ)		чел.-ч			9,47485				2 767,04
1-100-32	Средний разряд работы 3,2		чел.-ч	154	1,15	9,47485		292,04		2 767,04
2	ЭМ									72,56
	ОТм(ЗТм)		чел.-ч			0,07383				26,93
91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т		маш.-ч	0,48	1,15	0,02953		1 482,17		43,77
4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6		чел.-ч	0,48	1,15	0,02953		430,88		12,72
91.06.03-055	Лебедки электрические тяговым усилием 19,62 кН (2 т)		маш.-ч	0,34	1,15	0,02091		15,46		0,32
91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т		маш.-ч	0,72	1,15	0,04429	477,92	1,21	578,28	25,62
4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4		чел.-ч	0,72	1,15	0,04429		320,77		14,21

						8				
91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	1,54	1,15	0,09474 85			30,09		2,85
4	М									290,47
01.1.01.09-0026	Шнур асбестовый общего назначения ШАОН, диаметр 8-10 мм	т	0,0009		0,00004 82	286 707,85	1,21	346 916,50		16,72
01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,45		0,02407 5	155,63	1,1	171,19		4,12
01.7.15.03-0042	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	15		0,8025	174,93	1,15	201,17		161,44
01.7.19.04-0031	Прокладки резиновые (пластина техническая прессованная)	кг	8		0,428	138,50	1,38	191,13		81,80
14.5.04.03-0002	Мастика герметизирующая нетвердеющая из синтетического каучука для заполнения и герметизации швов стеклянного ограждения теплиц	т	0,005		0,00026 75	56 057,93	1,76	98 661,96		26,39
Итого прямые затраты										3 157,00
ФОТ										2 793,97
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9					3 042,63
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2					1 709,91
Всего по позиции								147 841,87	7 909,54	
5	ФСБЦ-19.1.01.09-0141	Изделия фасонные для воздухопроводов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 200 мм (до 200мм)	м2	1,79	1	1,79	723,75	1,03	745,46	1 334,37
Всего по позиции										1 334,37
6	ФСБЦ-19.1.01.09-0142	Изделия фасонные для воздухопроводов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 250 мм (до 250мм)	м2	2,07	1	2,07	723,75	1,03	745,46	1 543,10
Всего по позиции										1 543,10
7	ФСБЦ-19.1.01.09-0143	Изделия фасонные для воздухопроводов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 315 мм	м2	1,5	1	1,5	723,75	1,03	745,46	1 118,19
Всего по позиции										1 118,19
Решетки										
8	ГЭСН20-02-002-01	Установка решеток жалюзийных площадью в свету: до 0,5 м2	шт	13	1	13				

Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15									
1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			15,9965					4 786,63
1-100-34	Средний разряд работы 3,4	чел.-ч	1,07	1,15	15,9965		299,23			4 786,63
2	ЭМ									131,43
	ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,1495					47,96
91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,01	1,15	0,1495	477,92	1,21	578,28		86,45
4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,01	1,15	0,1495			320,77		47,96
91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	0,1	1,15	1,495			30,09		44,98
4	М									614,37
01.7.03.04-0001	Электроэнергия	кВт-ч	0,1404		1,8252			6,37		11,63
01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,11		1,43	155,63	1,1	171,19		244,80
04.3.01.09-0014	Раствор готовый кладочный, цементный, М100	м3	0,0003		0,0039			4 067,13		15,86
08.4.03.02-0002	Сталь арматурная горячекатаная гладкая, класс А-I, диаметр 6-22 мм	т	0,0004 3		0,00559	63 745,00	0,96	61 195,20		342,08
	Итого прямые затраты									5 580,39
	ФОТ									4 834,59
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9					5 264,87
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2					2 958,77
	Всего по позиции							1 061,85		13 804,03
9	ФСБЦ-19.2.03.08-0016	Решетка наружная круглая из оцинкованной стали в рамке для систем вентиляции, внутренний диаметр 160 мм	шт	13	1	13	340,14	1,03	350,34	4 554,42
	Всего по позиции									4 554,42
Тепловой насос										
10	ГЭСН20-06-019-01	Установка внешнего блока мульти сплит-системы	шт	1	1	1				

Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15								
1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			1,3685				504,50
1-100-50	Средний разряд работы 5,0	чел.-ч	1,19	1,15	1,3685		368,65		504,50
4	М								1 570,33
01.7.03.04-0001	Электроэнергия	кВт-ч	0,225		0,225		6,37		1,43
19.3.02.08-0022	Кронштейны стальные для крепления внешнего блока сплит-системы, с креплением, рекомендуемая нагрузка до 180 кг, размеры 677x830x50 мм	компл	1		1	1 097,13	1,43	1 568,90	1 568,90
Итого прямые затраты									2 074,83
	ФОТ								504,50
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				549,40
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2				308,75
Всего по позиции								2 932,98	2 932,98
11	Цена Поставщика	Тепловой насос	шт	1	1	1			
Всего по позиции									
12	ГЭСН20-06-013-01	Установка блоков тепломаассаобмена производительностью: до 10 тыс.м3/час	10 шт	0,1	1	0,1			
Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15								
1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			17,595				5 643,95
1-100-40	Средний разряд работы 4,0	чел.-ч	153	1,15	17,595		320,77		5 643,95
2	ЭМ								642,45
	ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,6555				239,39
91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	2,3	1,15	0,2645		1 482,17		392,03
4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	2,3	1,15	0,2645		430,88		113,97
91.06.03-047	Лебедки ручные и рычажные тяговым усилием 31,39 кН (3,2 т)	маш.-ч	32,4	1,15	3,726	2,36	1,31	3,09	11,51
91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	3,4	1,15	0,391	477,92	1,21	578,28	226,11

4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	3,4	1,15	0,391			320,77	125,42
91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	3,7	1,15	0,4255			30,09	12,80
4	М								348,45
01.1.02.08-0001	Прокладки из паронита ПМБ, толщина 1 мм, диаметр 50 мм	1000 шт	0,02		0,002	7 023,63	0,86	6 040,32	12,08
01.1.02.08-0002	Прокладки из паронита ПМБ, толщина 1 мм, диаметр 100 мм	1000 шт	0,01		0,001	13 680,39	0,86	11 765,14	11,77
01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	4		0,4	155,63	1,1	171,19	68,48
01.7.15.03-0042	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	12		1,2	174,93	1,15	201,17	241,40
01.7.19.04-0031	Прокладки резиновые (пластина техническая прессованная)	кг	0,77		0,077	138,50	1,38	191,13	14,72
Итого прямые затраты									6 874,24
ФОТ									5 883,34
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				6 406,96
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2				3 600,60
Всего по позиции								168 818,00	16 881,80
13	Цена Поставщика	Рекуператор по типу «Труба в трубе	шт	1	1	1			
Всего по позиции									
Итоги по разделу 1 ПРИТОЧНАЯ СИСТЕМА П-1 :									
Итого прямые затраты (справочно)									86 531,86
в том числе:									
Оплата труда рабочих									36 459,04
Эксплуатация машин									1 443,22
Оплата труда машинистов (Отм)									535,79
Материалы									48 093,81
Строительные работы									149 460,06
в том числе:									
оплата труда									36 459,04
эксплуатация машин и механизмов									1 443,22

	оплата труда машинистов (Отм)								535,79
	материалы								48 093,81
	накладные расходы								40 287,37
	сметная прибыль								22 640,83
	Итого ФОТ (справочно)								36 994,83
	Итого накладные расходы (справочно)								40 287,37
	Итого сметная прибыль (справочно)								22 640,83
	Итого по разделу 1 ПРИТОЧНАЯ СИСТЕМА П-1								149 460,06
	Справочно								
	затраты труда рабочих				122,358				
					85				
	затраты труда машинистов				1,48603				
Раздел 2. ВЫТЯЖНАЯ СИСТЕМА В-1									
Воздуховоды (D=100мм, 180мм, 200мм, 225мм, 250мм, 280мм, 325мм)									
14	ГЭСН20-01-001-01	Прокладка воздуховодов из листовой оцинкованной стали и алюминия класса Н (нормальные) толщиной: 0,5 мм, диаметром до 200 мм	100 м2	0,6124	1	0,6124			
	Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15							
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			108,456			31 673,50
	1-100-32	Средний разряд работы 3,2	чел.-ч	154	1,15	108,456	292,04		31 673,50
	2	ЭМ				04			830,60
		ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,84511			308,31
	91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	0,48	1,15	0,33804	1 482,17		501,04
	4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	0,48	1,15	0,33804	430,88		145,66
	91.06.03-055	Лебедки электрические тяговым усилием 19,62 кН (2 т)	маш.-ч	0,34	1,15	0,23944	15,46		3,70
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,72	1,15	0,50706	477,92 1,21	578,28	293,23
	4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,72	1,15	0,50706	320,77		162,65
	91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	1,54	1,15	1,08456	30,09		32,63
	4	М				04			3 324,83
	01.1.01.09-0026	Шнур асбестовый общего назначения ШАОН, диаметр 8-10 мм	т	0,0009		0,00055	286 707,85 1,21	346 916,50	191,22
						12			

01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,45		0,27558	155,63	1,1	171,19	47,18	
01.7.15.03-0042	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	15		9,186	174,93	1,15	201,17	1 847,95	
01.7.19.04-0031	Прокладки резиновые (пластина техническая прессованная)	кг	8		4,8992	138,50	1,38	191,13	936,38	
14.5.04.03-0002	Мастика герметизирующая нетвердеющая из синтетического каучука для заполнения и герметизации швов стеклянного ограждения теплиц	т	0,005		0,00306 2	56 057,93	1,76	98 661,96	302,10	
Итого прямые затраты									36 137,24	
ФОТ									31 981,81	
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				34 828,19	
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2				19 572,87	
Всего по позиции								147 841,77	90 538,30	
15	ФСБЦ-19.1.01.03-0071	Воздуховоды из оцинкованной стали, прямой участок, толщина 0,5 мм, диаметр до 200 мм	м2	31,05	1	31,05	851,42	1,03	876,96	27 229,61
Всего по позиции									27 229,61	
16	ФСБЦ-19.1.01.03-0072	Воздуховоды из оцинкованной стали, прямой участок, толщина 0,5 мм, периметр до 600 мм	м2	30,19	1	30,19	716,11	1,03	737,59	22 267,84
Всего по позиции									22 267,84	
Фасонные изделия - отводы, тройники, переходы (D=100мм, 180мм, 200мм, 225мм, 250мм, 280мм, 325мм)										
17	ГЭСН20-01-001-01	Прокладка воздуховодов из листовой оцинкованной стали и алюминия класса Н (нормальные) толщиной: 0,5 мм, диаметром до 200 мм	100 м2	0,0564	1	0,0564				
Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15									
1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч				9,98844				2 917,02
1-100-32	Средний разряд работы 3,2	чел.-ч	154	1,15	9,98844			292,04		2 917,02
2	ЭМ									76,50
	ОТм(ЗТм)	чел.-ч				0,07783 2				28,39
91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	0,48	1,15	0,03113 28			1 482,17		46,14

4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	0,48	1,15	0,03113 28			430,88	13,41	
91.06.03-055	Лебедки электрические тяговым усилием 19,62 кН (2 т)	маш.-ч	0,34	1,15	0,02205 24			15,46	0,34	
91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,72	1,15	0,04669 92	477,92	1,21	578,28	27,01	
4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,72	1,15	0,04669 92			320,77	14,98	
91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	1,54	1,15	0,09988 44			30,09	3,01	
4	М								306,21	
01.1.01.09-0026	Шнур асбестовый общего назначения ШАОН, диаметр 8-10 мм	т	0,0009		0,00005 08	286 707,85	1,21	346 916,50	17,62	
01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,45		0,02538	155,63	1,1	171,19	4,34	
01.7.15.03-0042	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	15		0,846	174,93	1,15	201,17	170,19	
01.7.19.04-0031	Прокладки резиновые (пластина техническая прессованная)	кг	8		0,4512	138,50	1,38	191,13	86,24	
14.5.04.03-0002	Мастика герметизирующая нетвердеющая из синтетического каучука для заполнения и герметизации швов стеклянного ограждения теплиц	т	0,005		0,00028 2	56 057,93	1,76	98 661,96	27,82	
Итого прямые затраты									3 328,12	
ФОТ									2 945,41	
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				3 207,55	
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2				1 802,59	
Всего по позиции								147 841,49	8 338,26	
18	ФСБЦ-19.1.01.09-0141	Изделия фасонные для воздухопроводов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 200 мм (до 200мм)	м2	2,07	1	2,07	723,75	1,03	745,46	1 543,10
Всего по позиции									1 543,10	
20	ФСБЦ-19.1.01.09-0142	Изделия фасонные для воздухопроводов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 250 мм (до 250мм)	м2	2,07	1	2,07	723,75	1,03	745,46	1 543,10
Всего по позиции									1 543,10	
21	ФСБЦ-19.1.01.09-0143	Изделия фасонные для воздухопроводов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 315 мм	м2	1,5	1	1,5	723,75	1,03	745,46	1 118,19
Всего по позиции									1 118,19	

Решетки										
22	ГЭСН20-02-002-01	Установка решеток жалюзийных площадью в свету: до 0,5 м2	шт	30	1	30				
	Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15								
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			36,915				11 046,08
	1-100-34	Средний разряд работы 3,4	чел.-ч	1,07	1,15	36,915		299,23		11 046,08
	2	ЭМ								303,32
		ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,345				110,67
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,01	1,15	0,345	477,92	1,21	578,28	199,51
	4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,01	1,15	0,345			320,77	110,67
	91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	0,1	1,15	3,45			30,09	103,81
	4	М								1 417,78
	01.7.03.04-0001	Электроэнергия	кВт-ч	0,1404		4,212			6,37	26,83
	01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,11		3,3	155,63	1,1	171,19	564,93
	04.3.01.09-0014	Раствор готовый кладочный, цементный, М100	м3	0,0003		0,009			4 067,13	36,60
	08.4.03.02-0002	Сталь арматурная горячекатаная гладкая, класс А-I, диаметр 6-22 мм	т	0,0004 3		0,0129	63 745,00	0,96	61 195,20	789,42
		Итого прямые затраты								12 877,85
		ФОТ								11 156,75
	Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				12 149,70
	Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2				6 827,93
		Всего по позиции						1 061,85		31 855,48
23	ФСБЦ-19.2.03.08-0014	Решетка наружная круглая из оцинкованной стали в рамке для систем вентиляции, внутренний диаметр 100 мм	шт	15	1	15	280,56	1,03	288,98	4 334,70
		Всего по позиции								4 334,70
24	ФСБЦ-19.2.03.08-0017	Решетка наружная круглая из оцинкованной стали в рамке для систем вентиляции, внутренний диаметр 200 мм (180мм)	шт	15	1	15	425,16	1,03	437,91	6 568,65

Всего по позиции						6 568,65
Итого по разделу 2 ВЫТЯЖНАЯ СИСТЕМА В-1 :						
Итого прямые затраты (справочно)						116 948,40
в том числе:						
Оплата труда рабочих						45 636,60
Эксплуатация машин						1 210,42
Оплата труда машинистов (Отм)						447,37
Материалы						69 654,01
Строительные работы						195 337,23
в том числе:						
оплата труда						45 636,60
эксплуатация машин и механизмов						1 210,42
оплата труда машинистов (Отм)						447,37
материалы						69 654,01
накладные расходы						50 185,44
сметная прибыль						28 203,39
Итого ФОТ (справочно)						46 083,97
Итого накладные расходы (справочно)						50 185,44
Итого сметная прибыль (справочно)						28 203,39
Итого по разделу 2 ВЫТЯЖНАЯ СИСТЕМА В-1						195 337,23
Справочно						
затраты труда рабочих						155,359
						48
затраты труда машинистов						1,26794
						4
Раздел 3. ПРИТОЧНАЯ СИСТЕМА П-2						
Воздуховоды (D=160мм, 180мм, 200мм, 225мм, 250мм, 280мм, 325мм)						
25	ГЭСН20-01-001-01	Прокладка воздуховодов из листовой оцинкованной стали и алюминия класса Н (нормальные) толщиной: 0,5 мм, диаметром до 200 мм	100 м2	0,44	1	0,44
	Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15				
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			77,924
	1-100-32	Средний разряд работы 3,2	чел.-ч	154	1,15	77,924
						292,04
						22 756,92
						22 756,92

2	ЭМ								596,78	
	ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,6072				221,51	
91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	0,48	1,15	0,24288			1 482,17	359,99	
4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	0,48	1,15	0,24288			430,88	104,65	
91.06.03-055	Лебедки электрические тяговым усилием 19,62 кН (2 т)	маш.-ч	0,34	1,15	0,17204			15,46	2,66	
91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,72	1,15	0,36432	477,92	1,21	578,28	210,68	
4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,72	1,15	0,36432			320,77	116,86	
91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	1,54	1,15	0,77924			30,09	23,45	
4	М								2 388,84	
01.1.01.09-0026	Шнур асбестовый общего назначения ШАОН, диаметр 8-10 мм	т	0,0009		0,00039	286 707,85	1,21	346 916,50	137,38	
01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,45		0,198	155,63	1,1	171,19	33,90	
01.7.15.03-0042	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	15		6,6	174,93	1,15	201,17	1 327,72	
01.7.19.04-0031	Прокладки резиновые (пластина техническая прессованная)	кг	8		3,52	138,50	1,38	191,13	672,78	
14.5.04.03-0002	Мастика герметизирующая нетвердеющая из синтетического каучука для заполнения и герметизации швов стеклянного ограждения теплиц	т	0,005		0,0022	56 057,93	1,76	98 661,96	217,06	
Итого прямые затраты									25 964,05	
	ФОТ								22 978,43	
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				25 023,51	
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2				14 062,80	
Всего по позиции								147 841,73	65 050,36	
26	ФСБЦ-19.1.01.03-0071	Воздуховоды из оцинкованной стали, прямой участок, толщина 0,5 мм, диаметр до 200 мм	м2	13,47	1	13,47	851,42	1,03	876,96	11 812,65
Всего по позиции									11 812,65	
27	ФСБЦ-19.1.01.03-0072	Воздуховоды из оцинкованной стали, прямой участок, толщина 0,5 мм, периметр до 600 мм	м2	30,53	1	30,53	716,11	1,03	737,59	22 518,62
Всего по позиции									22 518,62	

Фасонные изделия - отводы, тройники, переходы (D=160мм, 180мм, 200мм, 225мм, 225мм, 250мм, 280мм, 325мм)										
28	ГЭСН20-01-001-01	Прокладка воздуховодов из листовой оцинкованной стали и алюминия класса Н (нормальные) толщиной: 0,5 мм, диаметром до 200 мм	100 м2	0,0535	1	0,0535				
	Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15								
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			9,47485				2 767,04
	1-100-32	Средний разряд работы 3,2	чел.-ч	154	1,15	9,47485		292,04		2 767,04
	2	ЭМ								72,56
		ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,07383				26,93
	91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	0,48	1,15	0,02953		1 482,17		43,77
	4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	0,48	1,15	0,02953		430,88		12,72
	91.06.03-055	Лебедки электрические тяговым усилием 19,62 кН (2 т)	маш.-ч	0,34	1,15	0,02091		15,46		0,32
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,72	1,15	0,04429	477,92	1,21	578,28	25,62
	4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,72	1,15	0,04429		320,77		14,21
	91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	1,54	1,15	0,09474		30,09		2,85
	4	М								290,47
	01.1.01.09-0026	Шнур асбестовый общего назначения ШАОН, диаметр 8-10 мм	т	0,0009		0,00004	286 707,85	1,21	346 916,50	16,72
	01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,45		0,02407	155,63	1,1	171,19	4,12
	01.7.15.03-0042	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	15		0,8025	174,93	1,15	201,17	161,44
	01.7.19.04-0031	Прокладки резиновые (пластина техническая прессованная)	кг	8		0,428	138,50	1,38	191,13	81,80
	14.5.04.03-0002	Мастика герметизирующая нетвердеющая из синтетического каучука для заполнения и герметизации швов стеклянного ограждения теплиц	т	0,005		0,00026	56 057,93	1,76	98 661,96	26,39
		Итого прямые затраты								3 157,00
		ФОТ								2 793,97
	Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				3 042,63

Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2					1 709,91
Всего по позиции									147 841,87	7 909,54
29	ФСБЦ- 19.1.01.09- 0141	Изделия фасонные для воздухопроводов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 200 мм (до 200мм)	м2	1,79	1	1,79	723,75	1,03	745,46	1 334,37
Всего по позиции									1 334,37	
30	ФСБЦ- 19.1.01.09- 0142	Изделия фасонные для воздухопроводов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 250 мм (до 250мм)	м2	2,07	1	2,07	723,75	1,03	745,46	1 543,10
Всего по позиции									1 543,10	
31	ФСБЦ- 19.1.01.09- 0143	Изделия фасонные для воздухопроводов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 315 мм	м2	1,5	1	1,5	723,75	1,03	745,46	1 118,19
Всего по позиции									1 118,19	
Решетки										
32	ГЭСН20-02-01	Установка решеток жалюзийных площадью в свету: до 0,5 м2	шт	13	1	13				
Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1		Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15								
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			15,9965				4 786,63
	1-100-34	Средний разряд работы 3,4	чел.-ч	1,07	1,15	15,9965		299,23		4 786,63
	2	ЭМ								131,43
		ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,1495				47,96
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,01	1,15	0,1495	477,92	1,21	578,28	86,45
	4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,01	1,15	0,1495			320,77	47,96
	91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	0,1	1,15	1,495			30,09	44,98
	4	М								614,37
	01.7.03.04-0001	Электроэнергия	кВт-ч	0,1404		1,8252			6,37	11,63
	01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,11		1,43	155,63	1,1	171,19	244,80
	04.3.01.09-0014	Раствор готовый кладочный, цементный, М100	м3	0,0003		0,0039			4 067,13	15,86
	08.4.03.02-0002	Сталь арматурная горячекатаная гладкая, класс А-I, диаметр 6-22 мм	т	0,0004 3		0,00559	63 745,00	0,96	61 195,20	342,08
Итого прямые затраты									5 580,39	

		ФОТ								4 834,59
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9					5 264,87
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2					2 958,77
Всего по позиции									1 061,85	13 804,03
33	ФСБЦ-19.2.03.08-0016	Решетка наружная круглая из оцинкованной стали в рамке для систем вентиляции, внутренний диаметр 160 мм	шт	13	1	13	340,14	1,03	350,34	4 554,42
Всего по позиции									4 554,42	
Тепловой насос										
34	ГЭСН20-06-019-01	Установка внешнего блока мульти сплит-системы	шт	1	1	1				
Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15									
1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч				1,3685				504,50
1-100-50	Средний разряд работы 5,0	чел.-ч	1,19	1,15	1,3685			368,65		504,50
4	М									1 570,33
01.7.03.04-0001	Электроэнергия	кВт-ч	0,225		0,225			6,37		1,43
19.3.02.08-0022	Кронштейны стальные для крепления внешнего блока сплит-системы, с креплением, рекомендуемая нагрузка до 180 кг, размеры 677x830x50 мм	компл	1		1	1 097,13	1,43	1 568,90		1 568,90
Итого прямые затраты									2 074,83	
ФОТ										504,50
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9					549,40
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2					308,75
Всего по позиции									2 932,98	2 932,98
35	Цена Поставщика	Тепловой насос	шт	1	1	1				

Всего по позиции										
36	ГЭСН20-06-013-01	Установка блоков теплообмена производительностью: до 10 тыс.м3/час	10 шт	0,1	1	0,1				
	Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15								
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			17,595				5 643,95
	1-100-40	Средний разряд работы 4,0	чел.-ч	153	1,15	17,595			320,77	5 643,95
	2	ЭМ								642,45
		ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,6555				239,39
	91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	2,3	1,15	0,2645			1 482,17	392,03
	4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	2,3	1,15	0,2645			430,88	113,97
	91.06.03-047	Лебедки ручные и рычажные тяговым усилием 31,39 кН (3,2 т)	маш.-ч	32,4	1,15	3,726	2,36	1,31	3,09	11,51
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	3,4	1,15	0,391	477,92	1,21	578,28	226,11
	4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	3,4	1,15	0,391			320,77	125,42
	91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	3,7	1,15	0,4255			30,09	12,80
	4	М								348,45
	01.1.02.08-0001	Прокладки из паронита ПМБ, толщина 1 мм, диаметр 50 мм	1000 шт	0,02		0,002	7 023,63	0,86	6 040,32	12,08
	01.1.02.08-0002	Прокладки из паронита ПМБ, толщина 1 мм, диаметр 100 мм	1000 шт	0,01		0,001	13 680,39	0,86	11 765,14	11,77
	01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	4		0,4	155,63	1,1	171,19	68,48
	01.7.15.03-0042	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	12		1,2	174,93	1,15	201,17	241,40
	01.7.19.04-0031	Прокладки резиновые (пластина техническая прессованная)	кг	0,77		0,077	138,50	1,38	191,13	14,72
		Итого прямые затраты								6 874,24
		ФОТ								5 883,34
	Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				6 406,96
	Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2				3 600,60
		Всего по позиции							168 818,00	16 881,80

37	Цена Поставщика	Рекуператор по типу «Труба в трубе	шт	1	1	1	
		Всего по позиции					
		Итого по разделу 3 ПРИТОЧНАЯ СИСТЕМА П-2 :					
		Итого прямые затраты (справочно)					86 531,86
		в том числе:					
		Оплата труда рабочих					36 459,04
		Эксплуатация машин					1 443,22
		Оплата труда машинистов (Отм)					535,79
		Материалы					48 093,81
		Строительные работы					149 460,06
		в том числе:					
		оплата труда					36 459,04
		эксплуатация машин и механизмов					1 443,22
		оплата труда машинистов (Отм)					535,79
		материалы					48 093,81
		накладные расходы					40 287,37
		сметная прибыль					22 640,83
		Итого ФОТ (справочно)					36 994,83
		Итого накладные расходы (справочно)					40 287,37
		Итого сметная прибыль (справочно)					22 640,83
		Итого по разделу 3 ПРИТОЧНАЯ СИСТЕМА П-2					149 460,06
		Справочно					
		затраты труда рабочих				122,358	
						85	
		затраты труда машинистов				1,48603	
Раздел 4. ВЫТЯЖНАЯ СИСТЕМА В-2							
Воздуховоды (D=100мм, 180мм, 200мм, 225мм, 250мм, 280мм, 325мм)							
38	ГЭСН20-01-001-01	Прокладка воздуховодов из листовой оцинкованной стали и алюминия класса Н (нормальные) толщиной: 0,5 мм, диаметром до 200 мм	100 м2	0,6124	1	0,6124	
	Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15					
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			108,456 04	31 673,50

1-100-32	Средний разряд работы 3,2	чел.-ч	154	1,15	108,456 04			292,04	31 673,50	
2	ЭМ								830,60	
	ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,84511 2				308,31	
91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	0,48	1,15	0,33804 48			1 482,17	501,04	
4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	0,48	1,15	0,33804 48			430,88	145,66	
91.06.03-055	Лебедки электрические тяговым усилием 19,62 кН (2 т)	маш.-ч	0,34	1,15	0,23944 84			15,46	3,70	
91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,72	1,15	0,50706 72	477,92	1,21	578,28	293,23	
4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,72	1,15	0,50706 72			320,77	162,65	
91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	1,54	1,15	1,08456 04			30,09	32,63	
4	М								3 324,83	
01.1.01.09-0026	Шнур асбестовый общего назначения ШАОН, диаметр 8-10 мм	т	0,0009		0,00055 12	286 707,85	1,21	346 916,50	191,22	
01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,45		0,27558	155,63	1,1	171,19	47,18	
01.7.15.03-0042	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	15		9,186	174,93	1,15	201,17	1 847,95	
01.7.19.04-0031	Прокладки резиновые (пластина техническая прессованная)	кг	8		4,8992	138,50	1,38	191,13	936,38	
14.5.04.03-0002	Мастика герметизирующая нетвердеющая из синтетического каучука для заполнения и герметизации швов стеклянного ограждения теплиц	т	0,005		0,00306 2	56 057,93	1,76	98 661,96	302,10	
Итого прямые затраты									36 137,24	
ФОТ									31 981,81	
Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				34 828,19	
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2				19 572,87	
Всего по позиции								147 841,77	90 538,30	
39	ФСБЦ-19.1.01.03-0071	Воздуховоды из оцинкованной стали, прямой участок, толщина 0,5 мм, диаметр до 200 мм	м2	31,05	1	31,05	851,42	1,03	876,96	27 229,61
Всего по позиции									27 229,61	

40	ФСБЦ-19.1.01.03-0072	Воздуховоды из оцинкованной стали, прямой участок, толщина 0,5 мм, периметр до 600 мм	м2	30,19	1	30,19	716,11	1,03	737,59	22 267,84
Всего по позиции										22 267,84
Фасонные изделия - отводы, тройники, переходы (D=100мм, 180мм, 200мм, 225мм, 250мм, 280мм, 325мм)										
41	ГЭСН20-01-001-01	Прокладка воздуховодов из листовой оцинкованной стали и алюминия класса Н (нормальные) толщиной: 0,5 мм, диаметром до 200 мм	100 м2	0,0564	1	0,0564				
	Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15								
	1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч			9,98844				2 917,02
	1-100-32	Средний разряд работы 3,2	чел.-ч	154	1,15	9,98844			292,04	2 917,02
	2	ЭМ								76,50
		ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,07783				28,39
	91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т	маш.-ч	0,48	1,15	0,03113			1 482,17	46,14
	4-100-060	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 6	чел.-ч	0,48	1,15	0,03113			430,88	13,41
	91.06.03-055	Лебедки электрические тяговым усилием 19,62 кН (2 т)	маш.-ч	0,34	1,15	0,02205			15,46	0,34
	91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,72	1,15	0,04669	477,92	1,21	578,28	27,01
	4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,72	1,15	0,04669			320,77	14,98
	91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	1,54	1,15	0,09988			30,09	3,01
	4	М								306,21
	01.1.01.09-0026	Шнур асбестовый общего назначения ШАОН, диаметр 8-10 мм	т	0,0009		0,00005	286 707,85	1,21	346 916,50	17,62
	01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,45		0,02538	155,63	1,1	171,19	4,34
	01.7.15.03-0042	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	15		0,846	174,93	1,15	201,17	170,19
	01.7.19.04-0031	Прокладки резиновые (пластина техническая прессованная)	кг	8		0,4512	138,50	1,38	191,13	86,24
	14.5.04.03-0002	Мастика герметизирующая нетвердеющая из синтетического каучука для заполнения и герметизации швов стеклянного ограждения теплиц	т	0,005		0,00028	56 057,93	1,76	98 661,96	27,82
Итого прямые затраты										3 328,12
ФОТ										2 945,41

Пр/812-016.0-1, Приказ № 812/пр от 21.12.2020 п.25	НР Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	121	0,9	108,9				3 207,55	
Пр/774-016.0, Приказ № 774/пр от 11.12.2020 п.16	СП Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	%	72	0,85	61,2				1 802,59	
Всего по позиции								147 841,49	8 338,26	
42	ФСБЦ-19.1.01.09-0141	Изделия фасонные для воздуховодов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 200 мм (до 200мм)	м2	2,07	1	2,07	723,75	1,03	745,46	1 543,10
Всего по позиции								1 543,10		
44	ФСБЦ-19.1.01.09-0142	Изделия фасонные для воздуховодов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 250 мм (до 250мм)	м2	2,07	1	2,07	723,75	1,03	745,46	1 543,10
Всего по позиции								1 543,10		
45	ФСБЦ-19.1.01.09-0143	Изделия фасонные для воздуховодов из оцинкованной стали, толщина 0,5-0,55 мм, диаметр 315 мм	м2	1,5	1	1,5	723,75	1,03	745,46	1 118,19
Всего по позиции								1 118,19		
Решетки										
46	ГЭСН20-02-002-01	Установка решеток жалюзийных площадью в свету: до 0,5 м2	шт	30	1	30				
Приказ от 07.07.2022 № 557/пр прил.8 табл.3 п.10.1	Производство ремонтно-строительных работ осуществляется в стесненных условиях населенных пунктов: отдельных конструктивных решений объектов капитального строительства (кроме указанных в п.п. 10.2 и 10.3), объектов капитального строительства в целом ОЗП=1,15; ЭМ=1,15 к расх.; ЗПМ=1,15; ТЗ=1,15; ТЗМ=1,15									
1	ОТ(ЗТ)	чел.-ч				36,915				11 046,08
1-100-34	Средний разряд работы 3,4	чел.-ч	1,07	1,15	36,915			299,23		11 046,08
2	ЭМ									303,32
	ОТм(ЗТм)	чел.-ч			0,345					110,67
91.14.02-001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.-ч	0,01	1,15	0,345	477,92	1,21	578,28		199,51
4-100-040	ОТм(Зтм) Средний разряд машинистов 4	чел.-ч	0,01	1,15	0,345			320,77		110,67
91.17.04-233	Аппараты сварочные для ручной дуговой сварки, сварочный ток до 350 А	маш.-ч	0,1	1,15	3,45			30,09		103,81
4	М									1 417,78
01.7.03.04-0001	Электроэнергия	кВт-ч	0,1404		4,212			6,37		26,83
01.7.11.07-0227	Электроды сварочные для сварки низколегированных и углеродистых сталей УОНИ 13/45, Э42А, диаметр 4-5 мм	кг	0,11		3,3	155,63	1,1	171,19		564,93
04.3.01.09-	Раствор готовый кладочный, цементный, М100	м3	0,0003		0,009			4 067,13		36,60

Итого ФОТ (справочно)		46 083,97
Итого накладные расходы (справочно)		50 185,44
Итого сметная прибыль (справочно)		28 203,39
Итого по разделу 4 ВЫТЯЖНАЯ СИСТЕМА В-2		195 337,23
Справочно		
затраты труда рабочих	155,359	
	48	
затраты труда машинистов	1,26794	
	4	
Итоги по смете:		
Всего прямые затраты (справочно)		406 960,52
в том числе:		
Оплата труда рабочих		164 191,28
Эксплуатация машин		5 307,28
Оплата труда машинистов (Отм)		1 966,32
Материалы		235 495,64
Строительные работы		689 594,58
в том числе:		
оплата труда		164 191,28
эксплуатация машин и механизмов		5 307,28
оплата труда машинистов (Отм)		1 966,32
материалы		235 495,64
накладные расходы		180 945,62
сметная прибыль		101 688,44
Всего ФОТ (справочно)		166 157,60
Всего накладные расходы (справочно)		180 945,62
Всего сметная прибыль (справочно)		101 688,44
НДС 20%		137 918,92
ВСЕГО по смете		827 513,50
Справочно		
затраты труда рабочих	555,436	
	66	
затраты труда машинистов	5,50794	
	8	

Стоимость тепло-массообменной установки по типу «труба в трубе»



Общество с ограниченной ответственностью
«КОМПАНИЯ БЕЛВЕНТСТРОЙ»
ИНН 3123475017
Изготовление и монтаж систем вентиляции
Тел. 8 (4722) 59-95-49
308017 г.Белгород, ул.Рабочая 12А
E-mail: belventstroy@yandex.ru
www.belventstroy.ru

Коммерческое предложение №233 от 26.06.2024

Поставщик: ООО "Компания Белвентстрой"

Покупатель: ООО "МГГС"

№	Товары (работы,услуги)	Ед.	Кол-во	Цена	Сумма, руб.
1	Прямой участок П 650/1000 L4200/L3300 Т=3,0 ст3 Врезка 325 НОх3шт переход Дц 650/325 НО L150 (грунт 1 верхний слой) (эскиз) с конденсатоотводчиком	шт	1	176089,26	176089,26

Программа расчета комплексной системы вентиляции животноводческих помещений

```

print('Введите: n голов, шт (от 1 до 300), m, кг живой массы (100, 200, 300).
Температура внутр. воздуха  $t_{в}=18^{\circ}\text{C}$  и относительная влажность  $\varphi=60\%$ !', '\n')
n = int(input('Введите целое число от 1 до 300. n = '))
print("")
m = int(input('Введите целое число 100, 200, 300 кг. m = '))
print("")
C1 = 2.5
C2 = 0.3

print('1. Расчет требуемого воздухообмена для удаления вредных
поступлений:', '\n')
if m == 100:
    CO2 = 43.7
    print(' ', '1) Часовой объем вентиляции по накоплению углекислого газа:
LCO2 =', round(n*CO2/(C1-C2), 0), 'м3/ч;', '\n')
elif m == 200:
    CO2 = 57.9
    print(' ', '1) Часовой объем вентиляции по накоплению углекислого газа:
LCO2 =', round(n*CO2/(C1-C2), 0), 'м3/ч;', '\n')
elif m == 300:
    CO2 = 78.2
    print(' ', '1) Часовой объем вентиляции по накоплению углекислого газа:
LCO2 =', round(n*CO2/(C1-C2), 0), 'м3/ч;', '\n')

q1 = 9.816
q2 = 4

if m == 100:

```

```

WH2O = 152
print(' ', 2) Часовой объем вентиляции по влажности воздуха: LH2O =',
round(n*WH2O*1.3/(q1-q2), 0), 'м3/ч;', '\n')
elif m == 200:
    WH2O = 204
    print(' ', 2) Часовой объем вентиляции по влажности воздуха: LH2O =',
round(n*WH2O*1.3/(q1-q2), 0), 'м3/ч;', '\n')
elif m == 300:
    WH2O = 259
    print(' ', 2) Часовой объем вентиляции по влажности воздуха: LH2O =',
round(n*WH2O*1.3/(q1-q2), 0), 'м3/ч;', '\n')

```

$$\rho_B = 1.2$$

$$l = 50$$

$$l_{in} = 31$$

$$L = \text{round}(3.6 * Q_{hf} * n / (\rho_B * (l - l_{in})), 0)$$

```

if m == 100:
    Qhf = 367
    print(' ', 3) Часовой объем вентиляции по избыткам полной теплоты: L
    =', L, 'м3/ч;', '\n')
elif m == 200:
    Qhf = 493
    print(' ', 3) Часовой объем вентиляции по избыткам полной теплоты: L
    =', L, 'м3/ч;', '\n')
elif m == 300:
    Qhf = 625
    print(' ', 3) Часовой объем вентиляции по избыткам полной теплоты: L
    =', L, 'м3/ч;', '\n')

```

$L_{\max} = L$

```
print(' ', '4) За расчетный воздухообмен принимаем наибольший из
рассчитанных воздухообменов Lмакс = ', Lmax, 'м3/ч;', '\n')
```

```
print(' ', '5) Кратность воздухообмена в помещении Kр =',
round(Lmax/3600, 2), end = '.')
print('\n')
```

```
print('2. Расчет теплового баланса животноводческих помещений:', '\n')
```

$Q_{jiv} = Q_{ob} * n$

```
if m == 100:
    Qob = 367
    print(' ', '1) Количество теплоты, поступающего в помещение от
животных: Qжив =', Qjiv, 'Вт;', '\n')
elif m == 200:
    Qob = 493
    print(' ', '1) Количество теплоты, поступающего в помещение от
животных: Qжив =', Qjiv, 'Вт;', '\n')
elif m == 300:
    Qob = 625
    print(' ', '1) Количество теплоты, поступающего в помещение от
животных: Qжив =', Qjiv, 'Вт;', '\n')
```

```
Qven = round(0.24*Lmax*1.2*42*1.163, 0)
```

```
print(' ', '2) Количества теплоты, идущей на обогревание вентиляционного  
(наружного) воздуха: Qвен. =', Qven, 'Вт;', '\n')
```

```
Qisp = round(WH2O*n*0.3*0.595*1.163, 0)
```

```
if m == 100:
```

```
    WH2O = 152
```

```
    print(' ', '3) Расход теплоты на испарение влаги с поверхности пола и  
других ограждений: Qисп =', Qisp, 'Вт;', '\n')
```

```
elif m == 200:
```

```
    WH2O = 204
```

```
    print(' ', '3) Расход теплоты на испарение влаги с поверхности пола и  
других ограждений: Qисп =', Qisp, 'Вт;', '\n')
```

```
elif m == 300:
```

```
    WH2O = 259
```

```
    print(' ', '3) Расход теплоты на испарение влаги с поверхности пола и  
других ограждений: Qисп =', Qisp, 'Вт;', '\n')
```

```
print(' ', '4) Теплотери через ограждающие конструкции здания: Qо.зд. =  
70265 Вт;', '\n')
```

```
print(' ', '5) Тепловой баланс:', '\n')
```

```
print(' ', 'Qжив. = Qвен. + Qисп. + Qо.зд.', '\n')
```

```
ТепBal = Qjiv-(Qven+Qisp+70265)
```

```
print(' ', '{} - ({} + {} + 70265.0) = {}'.format(Qjiv, Qven, Qisp, ТепBal), '\n')
```

```

print(' ', 'Дефицит (Д) составляет {} Вт.'.format(abs(ТерBal)), '\n')

print('3. Определение тепловой нагрузки ТМУ и расчет
теплопроизводительности теплового насоса :', '\n')

tn = int(input('Введите температуру наружного воздуха -8, -5, 0 градусов. tn
= '))

print("")

if tn == -8:
    Qras = 3165
    print(' ', '1) Расчетная тепловая нагрузка теплообменного аппарата:
Qрасч =', Qras, 'Вт;', '\n')
elif tn == -5:
    Qras = 2860
    print(' ', '1) Расчетная тепловая нагрузка теплообменного аппарата:
Qрасч =', Qras, 'Вт;', '\n')
elif tn == 0:
    Qras = 2377
    print(' ', '1) Расчетная тепловая нагрузка теплообменного аппарата:
Qрасч =', Qras, 'Вт;', '\n')

N = Lmax/2200
QH = abs(ТерBal) - Qras*N
print(' ', '2) Количество установок в системе вентиляции: N ≈
{};'.format(int(ceil(N))), '\n')
print(' ', '3) Теплопроизводительность теплового насоса: QН =
{}.'.format(int(QH)), '\n')

```

**Акт о внедрении в проектирование материалов диссертационной работы -
методики расчета энергоэффективной системы вентиляции с элементами
утилизации тепла**



Россия, 308008, Белгородская обл.,
г. Белгород, бульвар Строителей,
д.45а, кв.11
ИНН/КПП: 3123487044/312301001
ОГРН 1223100003697

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ**

**"Интеллектуальные теплоэнергетические
системы"**

тел. +7(952)422-25-75
e-mail: n-savvin@mail.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Интеллектуальные
теплоэнергетические системы»

Н.Ю.Саввин

августа 2024 г.



АКТ

о внедрении результатов
кандидатской диссертационной работы
Колесникова Максима Сергеевича

Комиссия в составе: председатель: генеральный директор ООО «Интеллектуальные теплоэнергетические системы» Саввин Н.Ю., члены комиссии от Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова – доцент, к.т.н. Феоктистов А.Ю., доцент, к.т.н. Рамазанов Р.С.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы:

«Система вентиляции животноводческих помещений с элементами охраны воздушного бассейна», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в процессе деятельности ООО «Интеллектуальные теплоэнергетические системы». Методика расчета энергоэффективной системы вентиляции с элементами утилизации тепла и результаты программы для ЭВМ использованы в практике проектирования систем создания микроклимата в помещениях производственных предприятий различного профиля.

Использование указанных результатов позволяет повысить качество проектирования и сократить затраты на проведение проектировочных работ, а также повысить производительность труда инженеров-проектировщиков.

Председатель комиссии

Члены комиссии:

(Handwritten signatures)

Саввин Н.Ю.

Феоктистов А.Ю.

Рамазанов Р.С.

Свидетельство № 2023666853 «Программа расчета теплопроизводительности и коэффициента трансформации теплонасосной установки при различных температурах наружного воздуха»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023666853

«Программа расчета теплопроизводительности и коэффициента трансформации теплонасосной установки при различных температурах наружного воздуха»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Орлов Павел Анатольевич (RU), Ильина Татьяна Николаевна (RU), Саввин Никита Юрьевич (RU), Орлов Кирилл Павлович (RU), Колесников Максим Сергеевич (RU)*

Заявка № **2023665884**

Дата поступления **28 июля 2023 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **07 августа 2023 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

