

**ПЕТРОВ Алексей Михайлович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ  
ОТОПЛЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ НА БАЗЕ  
ВОЗДУШНОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА  
(НА ПРИМЕРЕ ТЕЛЯТНИКА)**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии и  
электрооборудование в сельском хозяйстве

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Барнаул - 2015

Работа выполнена на кафедре «Энергообеспечение сельского хозяйства» Федерального государственного бюджетного общеобразовательного учреждения высшего профессионального образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья».

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

Официальные оппоненты: **Возмилов Александр Григорьевич**  
доктор технических наук, профессор,  
заслуженный работник ВШ РФ, профессор  
кафедры «Электрооборудование  
и электронные системы автомобилей  
и тракторов», Южно-уральский государственный  
университет (ЮУРГУ), г. Челябинск  
**Федянин Виктор Яковлевич**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Автоматизированный  
электропривод» Алтайский государственный  
технический университет им. И.И. Ползунова,  
г. Барнаул

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Курганская  
сельскохозяйственная академия им. Т.С.  
Мальцева», г. Курган

Защита состоится **«25» ноября 2015 г., в 10 часов** на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 при ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46, <http://www.altstu.ru>, e-mail: [elnis@inbox.ru](mailto:elnis@inbox.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» и на сайте [http://www.altstu.ru/media/f/Dissertaciya\\_Petrov.pdf](http://www.altstu.ru/media/f/Dissertaciya_Petrov.pdf)

Автореферат разослан «\_\_»\_\_\_\_\_2015 г.

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



Куликова  
Лидия Васильевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность и степень разработанности темы.** Сельскохозяйственное производство является одной из наиболее энергоемких отраслей народного хозяйства. По данным министерства энергетики Российской Федерации потребление электрической энергии сельским хозяйством в 2014 году составило более 30 млрд. кВт·ч.

Одной из нерешенных проблем современного животноводства в России остается создание нормируемых условий содержания животных в животноводческих помещениях. При высокой концентрации поголовья на единицу площади происходит ухудшение состава воздуха, который загрязняется аммиаком, сероводородом, углекислым газом и пылью. В результате увеличивается падёж, снижаются прирост массы и сохранность животных.

Нормируемый воздухообмен животноводческих помещений обеспечивается системой механической принудительной приточно-вытяжной вентиляции. Основная часть энергии в животноводстве, около 50 %, расходуется на поддержание требуемых параметров микроклимата. Во время отопительного периода, который на 80% территории России длится 6 - 9 месяцев, необходимо подогреть нагнетаемый в животноводческие помещения воздух. С этой целью используется от 60 % до 80 % всей расходуемой тепловой энергии. В то же время для обеспечения требуемых параметров микроклимата внутри животноводческого помещения вентиляционный воздух удаляется в атмосферу и, наряду с вредными веществами, удаляется значительное количество теплоты (90 % от общих теплопотерь зданий).

В ряде случаев в сложившейся ценовой обстановке сельскохозяйственным предприятиям невыгодно применять энергосберегающие системы для формирования температурно-влажностного режима помещений, поэтому используются электрические, водяные и газовые нагреватели. В частности, в Тюменской области доля электрокалориферов, применяемых для формирования

микроклимата, составляет 62%, водяных нагревателей - 27%, ИК-облучателей - 5% и других устройств – 6 %. Требуемые параметры этими нагревательными приборами, как правило, не создаются, а если и создаются, то возникает проблема поддержания параметров на рациональном уровне.

Таким образом, в условиях интенсивного развития промышленного животноводства важной инженерной задачей является создание таких вентиляционно-отопительных систем, которые бы обеспечивали необходимые зоогигиенические условия содержания животных и снижали энергозатраты на создание оптимального микроклимата.

Решение этой задачи соответствует направлениям реализации «Энергетической стратегии России на период 2030 года», Федерального закона от 23.11.2009 № 261-ФЗ, Межведомственной координационной программы фундаментальных и приоритетных исследований по научному обеспечению развития агропромышленного комплекса РФ на 2011–2015 гг. и Приказа Минсельхоза РФ от 25 июня 2007 г. № 342 «О концепции развития аграрной науки и научного обеспечения АПК России до 2025 года».

Одной из перспективных энергосберегающих технологий, использующих возобновляемые источники энергии для создания оптимального микроклимата, является применение тепловых насосов.

**Цель работы.** Повышение энергоэффективности системы отопления животноводческих помещений за счет использования воздушного теплового насоса.

**Объект исследования.** Процесс теплообмена в телятнике при использовании воздушного теплового насоса в системе отопления.

**Предмет исследования.** Взаимосвязь эффективности воздушного теплового насоса с параметрами температуры и относительной влажности наружного и внутреннего воздуха.

**Задачи исследования.**

1. Обосновать целесообразность использования теплового насоса в системах микроклимата животноводческих помещений для условий Северного

Зауралья.

2. Разработать методику комплексной оценки микроклимата, математическую модель и алгоритм управления его параметрами в животноводческом помещении с использованием теплового насоса.

3. Провести экспериментальные исследования эффективности использования теплового насоса в системе микроклимата телятника.

4. Произвести сравнительную технико-экономическую оценку использования теплового насоса и электрокалорифера в системе микроклимата телятника.

#### **Научная новизна исследований заключается в следующем:**

- определены закономерности, описывающие взаимосвязь потребления электроэнергии воздушным тепловым насосом с параметрами наружного воздуха;

- разработана методика балльной оценки микроклимата животноводческого помещения по параметрам температуры и относительной влажности воздуха;

- разработан алгоритм функционирования оптимизатора микроклимата, обеспечивающего эффективное использование теплового насоса.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Использование системы отопления на базе воздушного теплового насоса позволяет снизить потребление электроэнергии на 40-50% по сравнению с существующей системой.

Результаты исследования могут быть использованы проектными организациями при разработке энергосберегающих систем отопления.

Результаты работы внедрены на ФГУП «Учебно-опытное хозяйство ТюмГСХА», а также используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО ГАУ Северного Зауралья.

#### **Методология и методы исследования.**

В процессе исследования были использованы методы теории вероятностей, компьютерного моделирования и многофакторного эксперимента.

**На защиту выносятся:**

- закономерности, описывающие взаимосвязь потребления электроэнергии воздушным тепловым насосом с параметрами наружного воздуха, подтверждающие эффективность предложенной технологии;
- методика балльной оценки микроклимата животноводческого помещения;
- концепция функционирования оптимизатора микроклимата в системе управления воздушным тепловым насосом;
- технико-экономические показатели применения теплового насоса в системе воздушного отопления телятника.

**Степень достоверности и апробация результатов.**

Достоверность исследования подтверждается сходимостью теоретических расчетов и практических результатов по коэффициентам преобразования и затратам электрической энергии.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на ежегодных научно-практических конференциях в Челябинской государственной агроинженерной академии (Челябинск, 2010–2013 гг.), государственном аграрном университете Северного Зауралья (Тюмень, 2010–2013 гг.), Российском аграрном университете им. К.А. Тимирязева (2012 г.) и Курганской государственной сельскохозяйственной академии (2010-2011 гг.).

**По результатам исследований опубликовано 11 научных работ, в том числе, - 3 в изданиях, рекомендованных ВАК и патент на полезную модель.**

**Структура и объем диссертации.** Работа включает введение, пять глав, основные результаты и выводы, список литературы из 107 наименований и приложения. Общий объем работы составляет 113 страниц машинописного текста, содержит 37 рисунков, 7 таблиц и 3 приложения.

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель работы, ее научная и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** «*Состояние вопроса и задачи исследования*» содержит оценку вентиляционно-отопительных систем, применяемых для формирования температурно-влажностного режима микроклимата в животноводческих помещениях.

Анализ сельскохозяйственных потребителей электроэнергии позволил сделать вывод о целесообразности использования альтернативных источников энергии, в частности, теплонасосных установок (ТНУ), для снижения энергозатрат на производство сельскохозяйственной продукции. Сделан вывод, что использование ТНУ, как основного элемента системы воздушного отопления животноводческого помещения, сдерживается из-за отсутствия данных по теплоэнергетическому потенциалу их применения в климатических условиях Северного Зауралья.

Результаты анализа литературных источников о существующих видах ТНУ и низкопотенциальных источников тепла на территории Северного Зауралья позволили сделать вывод, что перспективным для использования в качестве основного элемента системы воздушного отопления животноводческого помещения является ТНУ «воздух-воздух».

Использование ТНУ в климатических условиях Северного Зауралья недостаточно изучено, а также не оценена экономическая целесообразность их применения в качестве основного элемента системы воздушного отопления животноводческих помещений.

Вопросами энергосберегающих установок и их использования для создания микроклимата в помещениях, занимались Круглов Г.А., Изаков Ф.Я., Кирпичникова И.М., Самарин Г.Н., Андриянов А.М., Колосов А.М., Ершов И.Г., Петраков Г.Н., Сафаров А.Ф., Делягин А.Н., Пчелкин Ю.Н. и другие.

Анализ применяемого оборудования для формирования температурно-влажностного режима животноводческих помещений сельскохозяйственных

предприятий зоны Северного Зауралья показал, что в основном используются электрические, водяные и газовые нагреватели.

Исследование климатических особенностей зоны Северного Зауралья, в частности, температуры и относительной влажности за отопительный период животноводческих помещений, позволяет оценить возможность использования наружного воздуха в качестве источника низкопотенциального тепла и технико-экономическую целесообразность применения воздушного теплового насоса, как основного элемента системы воздушного отопления.

Анализ теоретических основ работы ТНУ показал, что определяющими эффективностью работы являются коэффициент преобразования (COP – Coefficient of Performance), потребление электрической энергии, продолжительность работы и выходная тепловая мощность.

Все вышеизложенное позволило сформулировать задачи исследования.

Во **второй главе** *«Теоретические аспекты обоснования основных технологических параметров теплонасосной установки»* исследованы закономерности изменения температурно-влажностных параметров микроклимата при использовании системы воздушного отопления на базе ТНУ в климатических условиях Северного Зауралья и взаимосвязи технических и технологических параметров ТНУ от режимов работы. Предложена методика комплексной оценки микроклимата помещения по двум параметрам: температуре и относительной влажности. Разработаны математическая модель и алгоритм управления системой воздушного отопления на базе ТНУ.

Для решения данных задач произведен расчет теплового баланса животноводческого помещения с целью определения необходимой тепловой мощности установки отопительной системы.

Тепловой баланс рассчитывался по известной формуле:

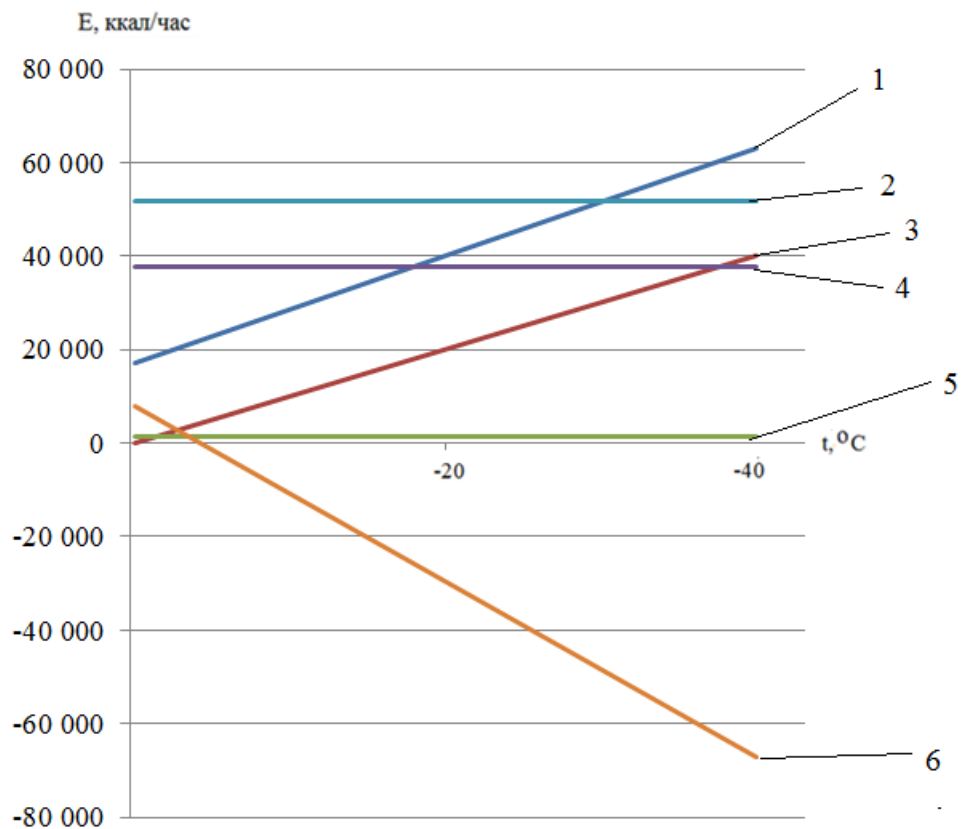
$$Q_{\text{отоп}} = Q_{\text{вент}} + Q_{\text{огр}} + Q_{\text{исп}} - Q_{\text{ж}} \quad (1)$$

где:  $Q_{\text{отоп}}$  - тепло, поступающее в помещения от системы отопления, ккал/час;  
 $Q_{\text{вент}}$  - тепло, затрачиваемое на нагрев воздуха, поступающего в помещение,



ккал/час;  $Q_{огр}$  - потери тепла через ограждения здания, ккал/час;  $Q_{исп}$  - тепло, затрачиваемое на испарение влаги с открытых водных и смоченных поверхностей помещения, ккал/час;  $Q_{ж}$  - свободное тепло, выделяемое животными, находящимися в помещении при требуемой температуре воздуха помещения, ккал/час;

В результате расчета определено значение дополнительной тепловой мощности, достаточной для обеспечения нормируемого микроклимата в животноводческом помещении. Полученные данные сведены в график теплового баланса помещения в зависимости от температуры окружающего воздуха (рисунок 1).



- 1 - расход тепла через ограждающие конструкции;
- 2- Приход тепла от существующей системы отопления;
- 3 – расход тепла на обогрев вентилируемого воздуха;
- 4 - тепловыделения животными;
- 5 - расход на испарение влаги;
- 6 - общий тепловой баланс;

Рисунок 1 – Тепловой баланс помещения в зависимости от температуры наружного воздуха.

Составлен почасовой график температурных режимов отопительных периодов за последние десять лет (рисунок 2):

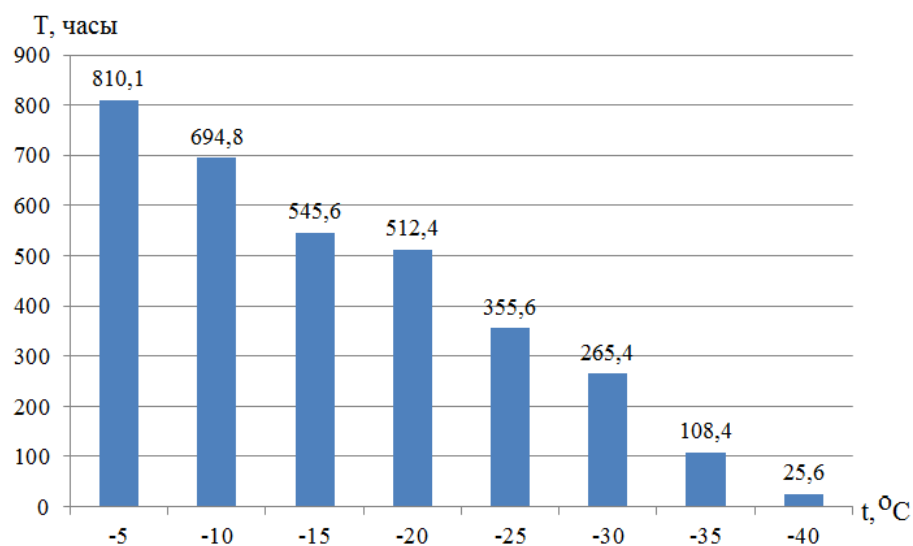


Рисунок 2 – Время стояния отрицательных температур

График времени стояния температур необходим для подбора хладагента ТНУ, определения количества снимаемого тепла хладагентом, расчета времени работы теплового насоса за отопительный период.

За основу взят хладагент R22s, поскольку его термодинамические и химические свойства наиболее близко соответствуют по значению задаваемым требованиям. Для температурного диапазона, указанного на рисунке 2, построена зависимость относительно возможного снятия температуры хладагентом (рисунок 3).

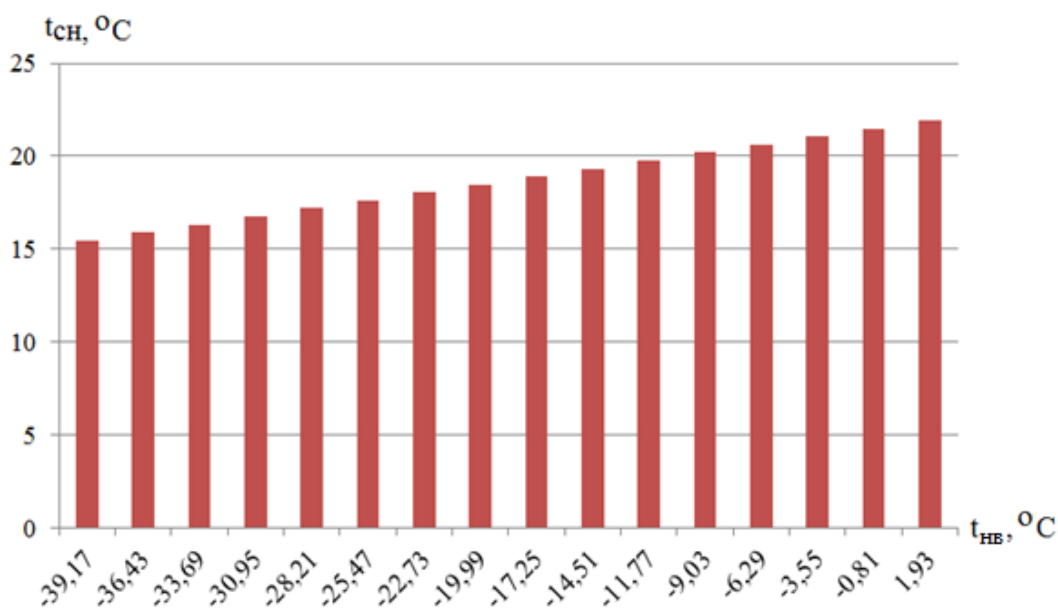


Рисунок 3 – Зависимость снимаемой хладагентом температуры от температуры наружного воздуха.

Выбранный хладагент при использовании его в тепловом насосе эффективно функционирует в температурном режиме до  $-25^{\circ}\text{C}$ . Поэтому принято решение, что при температуре ниже  $-25^{\circ}\text{C}$  будет подключаться система отопления на базе электрокалорифера.

С учетом часовой зоны работы теплового насоса и его температурных диапазонов для выбранного хладагента принято решение о разработке оптимизатора микроклимата, регулирующего выходные характеристики установки и позволяющего сократить затраты электроэнергии.

Для проведения сравнительной оценки микроклимата ряда помещений и облегчения расчета оптимизатора разработана и предложена методика комплексной оценки микроклимата по параметрам температурно-влажностной среды.

В основу методики положено следующее.

Введем численную оценку качества микроклимата по рассматриваемому параметру.

Пусть  $M = 1$  – максимально возможный уровень качества микроклимата по рассматриваемому параметру. Значение параметра принимается за 1 при его соответствии зоогигиеническим требованиям.

$M = 0$  – минимальной возможный уровень качества микроклимата по рассматриваемому параметру. Значение параметра принимается за 0 при его минимальным соответствиям зоогигиеническим требованиям.

Значения между максимальным ( $M = 1$ ) и минимальным ( $M = 0$ ) для рассматриваемого параметра подбирается с соответствующим «шагом» по получившейся шкале.

$M = 0,8...1$  – допустимый и превосходный по качеству уровень микроклимата;

$M = 0,6...0,8$  – допустимый и хороший уровень микроклимата;

$M = 0,4...0,6$  – допустимый уровень качества;

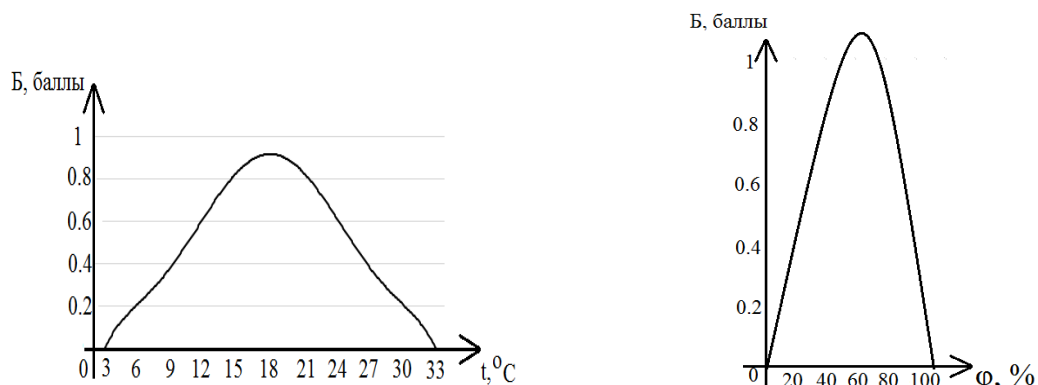
$M = 0...0,4$  – недопустимый уровень.

Например, общая оценка микроклимата « $M_{\text{общ}}$ » оценивалась по двум параметрам (температура и относительная влажность) и определялась по выражению:

$$M_{\text{общ}} = \sqrt[n]{x_t x_\varphi}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество параметров микроклимата;  $x_t$  – температура внутри помещения;  $x_\varphi$  – относительная влажность внутри помещения.

Для примера на рисунке 4 приведены шкалы оценки параметров в графическом виде для температуры и относительной влажности внутри помещения:



(а)

(б)

Рисунок 4. Графическое отображение «комплекса желательности», где а – балльная оценка температуры внутри помещения; б – балльная оценка относительной влажности внутри помещения.

В результате теоретических исследований было выявлено, что функциональность теплового насоса главным образом определяется его технологическими параметрами. В качестве этих параметров, которые будем называть основными, приняты коэффициент преобразования и величина потребления электрической энергии.

Технологический процесс, при котором обеспечивается наибольший эффект по одному из технологических параметров или их совокупности, определен как рациональный режим. Отклонение от рационального режима ведет к нежелательным потерям, либо затратам на восполнение энергетических ресурсов.

Для достижения необходимого результата предложена структурная схема системы отопления ТНУ, которая позволяет обеспечить требуемые температурно-влажностные характеристики микроклимата и выбрать рациональный режим работы оборудования. Структурная схема системы воздушного отопления представлена на рисунке 5.

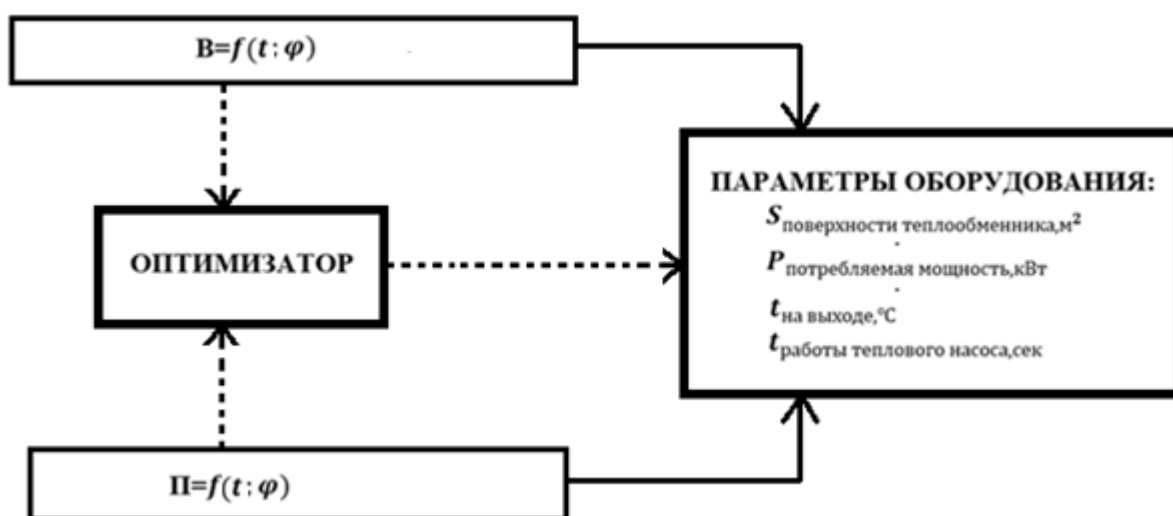


Рисунок 5 - Структурная схема системы отопления животноводческого помещения с использованием ТНУ

1 – температурно-влажностные характеристики наружного воздуха; 2 – температурно-влажностные характеристики микроклимата внутри помещения; 3 – оптимизатор; 4 – технологические параметры системы воздушного отопления на базе ТНУ.

Алгоритм работы оптимизатора основывается на снятии и дальнейшем сравнении параметров температуры и относительной влажности наружного воздуха и воздуха внутри помещения в соответствии с заложенной в него программой, обеспечивающий рациональный режим работы ТНУ. Далее оптимизатор на основе расчета необходимой величины корректировки температуры и относительной влажности воздуха внутри помещения осуществляет управление ТНУ с помощью подачи соответствующего управляющего сигнала. В соответствии с сигналом, ТНУ изменяет основные технологические параметры и обеспечивает рациональный режим работы установки.

Для теоретической проверки работы оптимизатора в среде Matlab пакета Simulink разработана математическая модель, представленная блок-схемой алгоритма на рисунке 6.

Полученные результаты в ходе моделирования подтвердили адекватность разработанной модели и доказали эффективность применения системы воздушного отопления на базе ТНУ в животноводческих помещениях Северного Зауралья. Имитационное моделирование работы системы воздушного отопления позволило моделировать различные сценарии работы теплового насоса, а также определить режимы его работы и значение технологических параметров ТНУ в зависимости от температурно-влажностных параметров наружного воздуха.

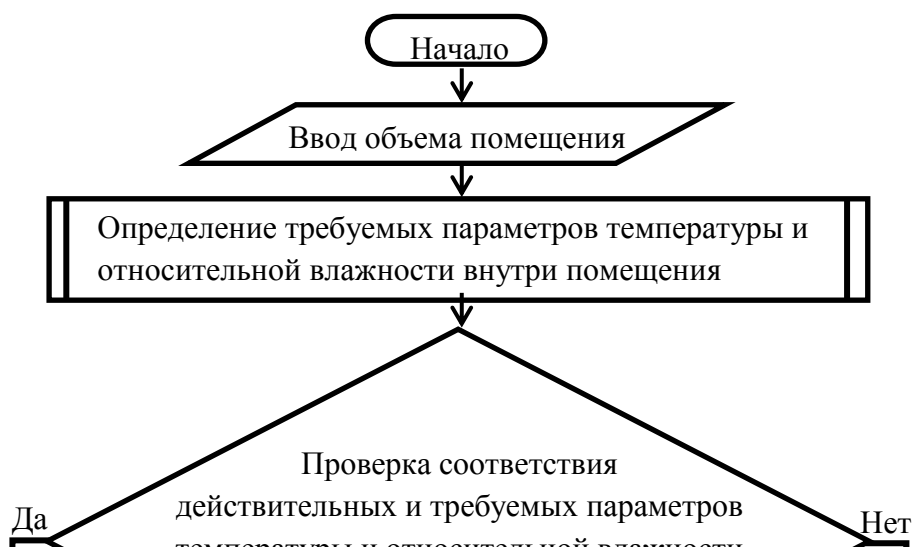


Рисунок 6. Блок-схема алгоритма функционирования системы воздушного отопления на базе ТНУ

Моделирование работы системы воздушного отопления позволило оценить коэффициент преобразования при использовании воздушных ТНУ в климатических условиях Северного Зауралья ( $COP \approx 2,4$ ). Полученные графические зависимости представлены на рисунке 7 и описывают изменение COP при различных температурах наружного воздуха за относительный интервал времени.

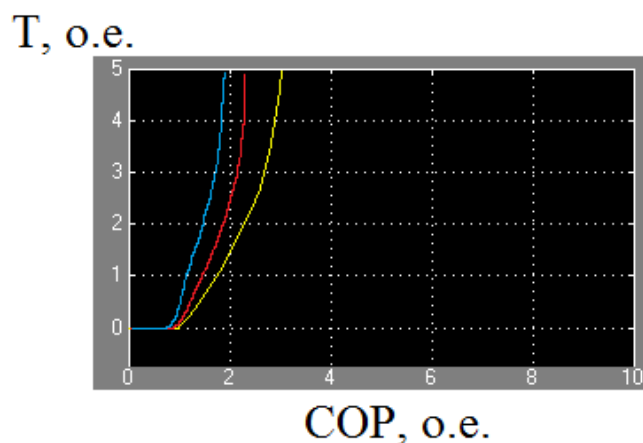


Рисунок 7. Графические зависимости COP при различных температурах наружного воздуха за относительный интервал времени

В третьей главе *«Программа и методика экспериментальных исследований»* описываются программа и методики проводимых исследований.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось два этапа: 1-й этап – в лабораторных условиях (на базе лабораторий ГАУСЗ (г. Тюмень); 2 -й этап – в производственных условиях (на базе телятника на 200 голов ФГУП «Учебно-опытное хозяйство ТГСХА» г. Тюмень.

Программа первого этапа исследований предусматривала:

1. Исследование зависимости коэффициента преобразования (COP) воздушной ТНУ от температуры наружного воздуха.
2. Исследование зависимости изменения температурно-влажностных параметров помещения при отоплении его ТНУ от температуры наружного воздуха.

Для проведения комплексных испытаний в лабораторных условиях использовался экспериментальный стенд, в основу которого был положен тепловой насос «воздух-воздух» PH060-5GC (рисунок 8).



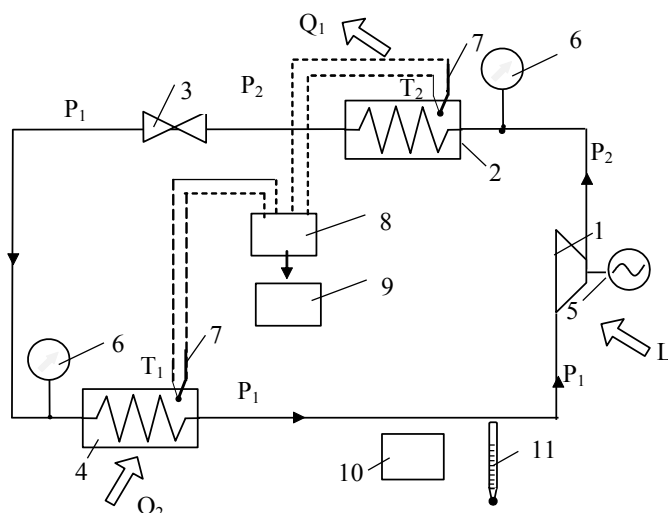


Рисунок 8. Схема лабораторного стенда

1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – дроссельный вентиль; 4 – испаритель; 5 – электродвигатель; 6 – гигрометр; 7 – термопара; 8 – переключатель термопар; 9 – мультиметр; 10 – термометр.

Измерения температуры и относительной влажности внутреннего и наружного воздуха осуществлялись по общепринятой методике.

Программа второго этапа исследований предусматривала:

1. Комплексное исследование состояние температурно-влажностных параметров микроклимата телятника на 200 голов.
2. Исследование зависимости коэффициента преобразования (COP) воздушной ТНУ от температуры наружного воздуха.
3. Исследование зависимости изменения температурно-влажностных параметров отапливаемого ТНУ помещения телятника от температурно-влажностных параметров наружного воздуха.
4. Исследование зависимости изменения потребления электрической энергии ТНУ от температуры наружного воздуха.
5. Исследование энергопотребления систем воздушного отопления на базе ТНУ (опытное помещение) и электрокалориферной установки (контрольное помещение) от температуры наружного воздуха.
6. Исследование изменения температурно-влажностных параметров в



Результаты лабораторных исследований зависимости коэффициента преобразования (COP) воздушной теплонасосной установки от температуры наружного воздуха представлены на рисунке 10:

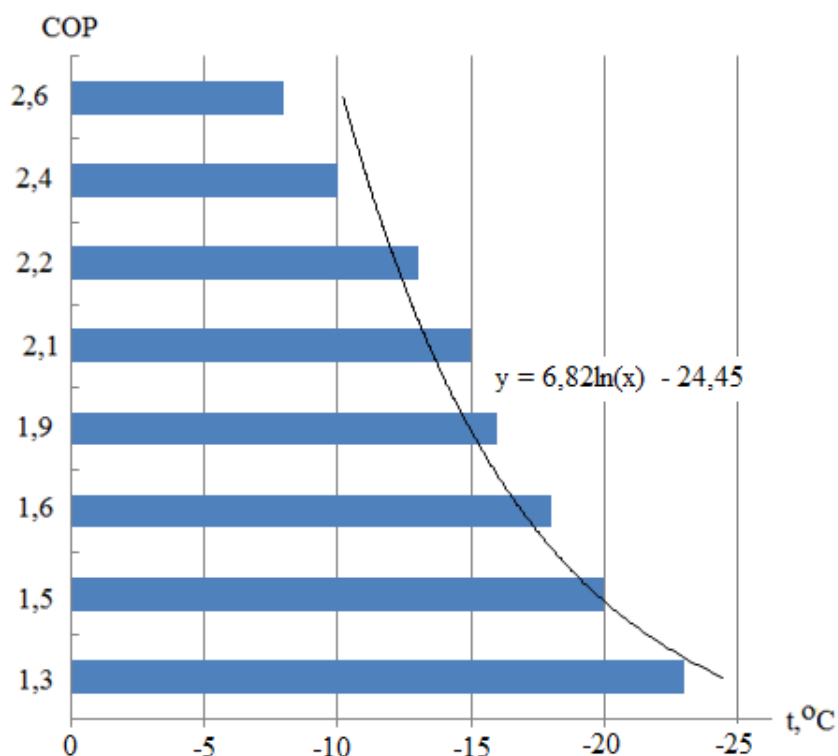


Рисунок 10. Зависимости коэффициента преобразования (COP) воздушной ТНУ от температуры наружного воздуха

Анализ зависимостей показывает, что снижение величины коэффициента преобразования ТНУ при работе в климатических условиях Северного Зауралья от температуры наружного воздуха происходит по логарифмическому закону. Это объясняется тем, что приращение производительности ТНУ происходит по нелинейной обратно-экспоненциальной зависимости от температуры наружного воздуха.

Результаты исследования зависимости изменения температурно-влажностных параметров отапливаемого ТНУ помещения от температурно-влажностных параметров наружного воздуха представлены на рисунках 11 и 12.

В результате лабораторных исследований, которые проводился с 12.10.11 г. по 10.12.11 г. получены значения коэффициента преобразования в интервале от

1,2 до 2,6, что доказывает эффективность применения системы воздушного отопления на базе ТНУ в климатических условиях Северного Зауралья.

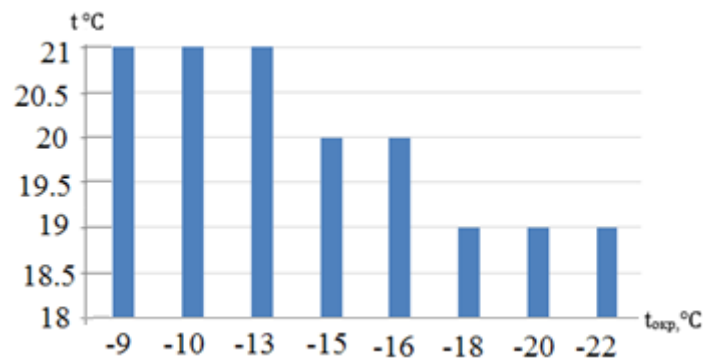


Рисунок 11. Зависимости изменения температуры помещения от температуры наружного воздуха за период проведения лабораторных исследований

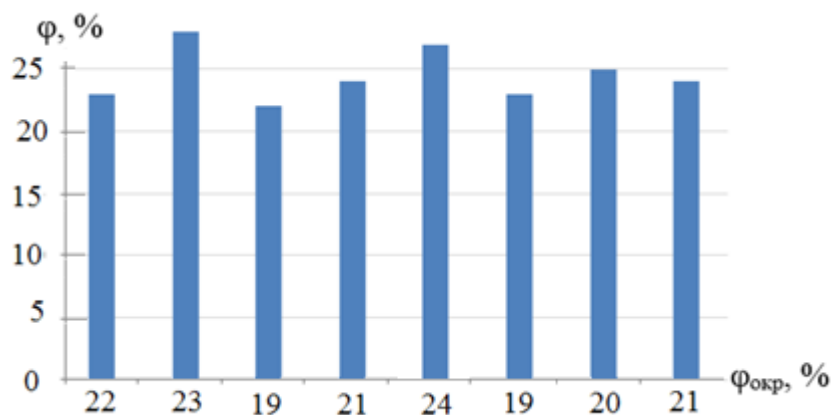


Рисунок 12. Зависимости изменения относительной влажности помещения от относительной влажности наружного воздуха за период проведения лабораторных исследований

Теоретический расчет предположительного среднего коэффициента преобразования, который возможно получить при производственных испытаниях ТНУ в климатических условиях Северного Зауралья за отопительный период, составил 2,4.

Коэффициент преобразования ТНУ, полученный при экспериментальных исследованиях, равнялся  $2,3 \pm 0,15$ , чем подтверждается адекватность теоретических расчетов.

На втором этапе с 04.11.12 г. по 24.02.13 г., был проведен пассивный многофакторный эксперимент для изучения зависимости потребленной мощности ТНУ (3) и электрокалориферной установки (4) от параметров воздушной среды внутри и вне помещения.

На основании данных многофакторного эксперимента были получены следующие уравнения регрессии:

$$Y = 29,84 + 80,70x_1 + 50,96x_2 - 23,57x_3 + 94,53x_1x_2 + 27,68x_2x_3 + +59,70x_2^2 \quad (3)$$

$$Y = 44,92 + 0,637x_1 + 21,1x_2 - 9,76x_3 + 74,63x_1x_2 + 34,61x_2x_3 + +2,472x_2^2 \quad (4)$$

где  $x_1$  – температура воздуха внутри помещения,  $t_{\text{вп}} \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

$x_2$  – относительная влажность наружного воздуха,  $\varphi_{\text{атм}} \%$ ;

$x_3$  – температура наружного воздуха,  $t_{\text{атм}} \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Анализ уравнений (3) и (4) показал, что на потребление электрической энергии существенно влияет относительная влажность наружного воздуха ( $\varphi_{\text{атм}} \%$ ), так как её величина определяет значение режима работы теплового насоса. Чем меньше относительная влажность наружного воздуха, тем выше коэффициент преобразования и меньше потребление электрической энергии ТНУ.

Результаты полученных экспериментальных данных показывают, что применение ТНУ за отопительный период обеспечивает требуемые температурно-влажностные параметры внутри помещения при меньшем потреблении электрической энергии по сравнению с системой отопления на базе электрокалориферной установки.

Затраты электрической энергии в системе воздушного отопления на базе ТНУ составили  $6\,187,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ , а в системе воздушного отопления на базе электрокалорифера  $13\,473,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ , при тех же значениях температурно-влажностных параметров внутреннего и наружного воздуха.

В пятой главе «Технико-экономические показатели применения ТНУ в животноводческих помещениях» определены экономическая эффективность и годовой экономический эффект от внедрения систем воздушного отопления на базе ТНУ в телятнике на 200 голов.

Экономический эффект от внедрения системы воздушного отопления на базе ТНУ достигается за счет сокращения затрат на производство тепловой энергии путем использования низкопотенциального тепла наружного воздуха.

Расчетное значение экономического эффекта от применения ТНУ в системе отопления телятника на 200 голов составило около 112 000 рублей в год при сроке окупаемости 2,8 года.

### **Основные результаты и выводы**

1. Эффективное снижение энергозатрат в системах микроклимата животноводческих помещений может быть достигнуто при использовании воздушного теплового насоса.

2. Условия функционирования воздушного теплового насоса определяются с учетом полученных закономерностей, описывающих взаимосвязь электропотребления с параметрами наружного воздуха.

3. Система управления воздушным отоплением строится с использованием разработанной методики комплексной оценки микроклимата животноводческих помещений и включает оптимизатор микроклимата для регулирования параметров ТНУ.

4. Рациональный режим работы ТНУ обеспечивает разработанная концепция функционирования оптимизатора микроклимата в системе управления воздушным тепловым насосом.

5. Потребление электроэнергии ТНУ в зависимости от температурно-влажностных параметров внутри и вне помещения позволяют оценить полученные в работе уравнения регрессии.

6. В результате экспериментальных исследований установлено, что затраты электроэнергии в системе на основе ТНУ меньше, чем при использовании электрокалориферов в 2,2 раза.

7. Расчетное значение экономического эффекта от применения ТНУ в системе отопления телятника на 200 голов составляет около 112 000 рублей в год при сроке окупаемости 2,8 года.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России**

1. **Петров, А.М.** Применение тепловых насосов для обогрева животноводческих помещений [Текст] // Вестник Ульяновской ГСХА. – Ульяновск: Изд-во УГСХА, 2012. - №3. - С. 122-126.

2. **Петров, А.М.** Применение системы отопления на основе теплонасосных установок в животноводческих помещениях [Текст] // Вестник Бурятской ГСХА. – Улан-Удэ: Изд-во БурГСХА, 2012. - №3. С. 153-156.

3. **Петров, А.М.** Исследования особенностей работы теплонасосной установки «воздух-воздух» в телятниках Северного Зауралья [Текст] / А.М. Петров, Л.Н. Андреев // Инновации и инвестиции. – Москва: Изд-во КноРус, 2015. - №2. - С.98-101.

4. **Свидетельство о патенте на полезную модель.** Устройство для повышения эффективности теплового насоса при низких температурах наружного воздуха [Текст]. / А.М. Петров [и др.]. - № **2012114273**; Заявл. 10.12.20 Опубл. 11.04.2012.

### **Публикации в других изданиях:**

5. **Петров, А.М.** Экономия тепловой и электрической энергии в животноводческих помещениях [Текст] / А.М. Петров, П.М. Михайлов// Сборник

материалов конференции молодых учёных «Научно-техническое творчество молодежи агропромышленному комплексу Урала и Сибири». – Челябинск: Изд-во ЧГАА, 2010. – № 1. - С. 53-56.

6. **Петров, А.М.** Применение тепловых насосов в животноводческих помещениях [Текст] / А.М. Петров, П.М. Михайлов// Вестник «Тюменской государственной сельскохозяйственной академии». – Тюмень: Изд-во ТюмГСХА, 2010. - №3. – С. 89-91.

7. **Петров, А.М.** Применение тепловых насосов в животноводстве Тюменской области [Текст] // Вестник «Челябинской государственной сельскохозяйственной академии». – Челябинск: Изд-во ЧГАА, 2010. - №3. – С.84-86.

8. **Петров, А.М.** Тепловые насосы в сельском хозяйстве// Вестник «Курганской государственной сельскохозяйственной академии». – Курган: Изд-во КГСХА, 2011. - №3. – С.95-97.

9. **Петров, А.М.** Применение тепловых насосов в животноводстве Тюменской области// Вестник «Челябинской государственной сельскохозяйственной академии». – Челябинск: Изд-во ЧГАА, 2011. - №2. – С.57-59.

10. **Петров, А.М.** Применение тепловых насосов в животноводческих помещениях Северного Зауралья// Научная газета «Логос». – Тюмень: Изд-во ТюмГСХА 2011. - №1. - С.4-6.

11. **Петров, А.М.** Применение системы вентиляции на основе теплонасосных установок в животноводческих помещениях//Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи». – Курган: Изд-во КГСХА, 2013. - №1. – С.103-105.



Подписано в печать « » \_\_\_\_\_ 2015 г.

Формат А5. Объем 1,0 уч.-изд.л.

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