

На правах рукописи

КАПУСТИН ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ
ВЕНТИЛЯЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ДЛЯ КРУПНОГО РОГАТОГО
СКОТА ПУТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
РАСХОДА ВОЗДУХА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2011

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Алтайский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Федоренко Иван Ярославович (ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет»)

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Новоселов Александр Леонидович (ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»);

кандидат технических наук, доцент
Сабиев Уахит Калижанович (ГОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет»)

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «24» июня 2011 года в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 в ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038, РФ, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46.

http: www. altstu. ru; ntsc@ desert. secna. ru; тел/факс (3852) 36-71-29

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета Д 212.004.02.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Автореферат разослан и размещен на сайте **http: www. altstu. ru**
«20» мая 2011 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.004.02
доктор технических наук, профессор



Л. В. Куликова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Строительство новых и реконструкция существующих животноводческих ферм с внедрением новых эффективных технологий, в основном зарубежной комплектации, позволило повысить продуктивность животных на 40-70% и снизить трудозатраты на отдельных операциях в 5-6 раз. На ряде ферм КРС Алтайского края среднегодовой надой молока превышает 6000 л, наметилась тенденция к строительству зданий большой вместимости с доением коров в доильных залах. Однако отсутствие комплексности в обосновании выбора новых технологий и технических решений для природно-климатических особенностей Сибири привело к снижению их эффективности. В первую очередь это относится к системам обеспечения микроклимата. Известно, что при неограниченном воздухообмене и постоянном химическом составе воздуха в естественных условиях, холодном и свободновыгульном содержании КРС температура и относительная влажность воздуха не являются определяющими параметрами микроклимата, но оценка степени их влияния на продуктивность и здоровье животных противоречива. Это обусловлено реакцией механизма адаптации созданного в процессе эволюции животных. Содержание животных в помещении с ограниченным воздухообменом ведет к изменению состава воздуха. Оценка степени влияния газового состава воздуха однозначна, и за основной контролируемый параметр принята концентрация аммиака, который способен накапливаться в организме, и не только сам агрессивен, но и, связывая гемоглобин в крови, препятствует усвоению кислорода. Затраты на обеспечение микроклимата зависят от величины воздухообмена, температуры наружного воздуха и избытка тепла в помещении, определяемого не только выделением тепла животными, но и потерями тепла ограждающими конструкциями при различных объемно-планировочных решениях здания. Термические характеристики здания зачастую не сочетаются с техническими требованиями для эксплуатации оборудования, технологией содержания и физиологией животных. Это обусловлено прекращением строительства традиционных для Сибири зданий с чердаком, недостатком опыта эксплуатации новых зданий с совмещенным перекрытием при отсутствии рекомендаций в связи с ликвидацией научно-исследовательских центров. Температура наружного воздуха ниже минус 40°C может длиться более месяца, а диспаритет цен на продукцию и энергоносители привел к тому, что для оплаты затрат на эксплуатацию искусственной системы вентиляции с подогревом воздуха в коровнике необходимо продать до 5 л молока от каждой коровы в сутки. Поэтому в помещениях для КРС системы вентиляции с подогревом воздуха прекратили использовать, а ресурсосберегающие системы находятся на стадии исследований. Широко распространенные общеобменные естественные системы вентиляции из-за дефицита тепла в период экстремально низких температур закрывают. Применение локальной организации воздухообмена с уменьшенным расходом воздуха сдерживается тем, что до сих пор нет данных о

взаимодействии естественных конвекционных потоков в помещении с потоками приточного воздуха, определяющих степень снижения воздухообмена. Кроме того, существует противоречие между снижением воздухообмена и низким качеством ручного управления. Опыт других областей техники показывает, что при рассмотрении сходных вопросов решение проблемы в целом возможно с использованием для управления автоматических регуляторов. Актуальность настоящей работы заключается в решении проблемы обеспечения основных параметров микроклимата в помещениях для крупного рогатого скота системой естественной вентиляции за счет повышения степени использования тепла, выделяемого животными, и уменьшении воздухообмена, что в совокупности позволяет снизить энергозатраты на производство продукции животноводства.

Целью диссертационной работы является повышение степени использования тепла, выделяемого животными, и уменьшение воздухообмена при естественной вентиляции путем разработки инженерных методов регулирования расхода воздуха.

В связи с поставленной целью сформулированы следующие **задачи исследования**:

1. Разработать математическую модель формирования естественных потоков воздуха, обосновать схему организации воздухообмена и конструктивное исполнение системы вентиляции для помещений КРС.
2. Выявить зависимость расхода воздуха от организации воздухообмена и разработать методику расчета системы естественной вентиляции для зданий с чердаком.
3. Обосновать схему размещения элементов системы вентиляции с учётом технологии содержания животных.
4. Предложить классификацию регуляторов расхода воздуха и определить элементный состав конструктивного исполнения для работы в режиме стабилизатора расхода воздуха.
5. Экспериментально проверить предложенную систему естественной вентиляции и дать её экономическую оценку.

Объект исследования. Технологический процесс естественной вентиляции в помещениях для крупного рогатого скота.

Предмет исследования. Факторы, влияющие на эффективность системы естественной вентиляции и качество регулирования.

Научная новизна:

- получена математическая модель естественной конвекции для животноводческих помещений;
- обоснована схема организации воздухообмена естественной вентиляцией с учетом взаимодействия естественных конвекционных потоков и потоков приточ-

ного воздуха, поступающего из межкрышного пространства при удалении посредством вытяжных шахт;

- разработана методика расчета системы естественной вентиляции для зданий с чердаком;

- предложена классификация регуляторов расхода воздуха для естественных систем вентиляции и методика их расчета для вытяжной шахты.

Практическая ценность. На основе исследований разработаны, изготовлены и установлены на вытяжных шахтах естественной вентиляции в коровниках и телятниках автоматические регуляторы расхода воздуха, что позволяет сократить трудозатраты на управление расходом воздуха при повышении качества управления.

Разработана методика инженерного расчета автоматического регулятора расхода воздуха, повышающая точность расчетов.

Предложена методика расчета системы естественной вентиляции, осуществлён её монтаж в животноводческих помещениях.

Проведена производственная проверка системы естественной вентиляции с автоматическим регулированием расхода воздуха, подтвердившая её эффективность по затратам к первому году внедрения в сравнении с теплообменной пленочной, за счет снижения стоимости, повышения надежности и срока эксплуатации.

Реализация и внедрение результатов исследований. Результаты выполненного исследования и рекомендации, предложенные в работе, использованы при реконструкции и монтаже новых систем естественной вентиляции в хозяйствах Алтайского края: в коровниках ЗАО «Кипринское», Шелаболихинский район; ЗАО «Алтай», Тюменцевский район; ЗАО «Степное», Родинский район; СПК «Чистозерский», Завьяловский район; ЗАО «Западное», Ключевской район; ГПЗ «Победа», Кулундинский район; учхоз «Пригородное», Алтайский государственный аграрный университет. Система естественной вентиляции включена в Каталог инвестиционных проектов по агропромышленному комплексу: М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 136 с.

Результаты исследования внедрены в учебный процесс кафедры «Механизация животноводства» института техники и агроинженерных исследований АГАУ.

Регуляторы расхода воздуха могут быть применены в системах естественной вентиляции зданий и сооружений иного назначения. Лабораторная установка может быть использована как стенд для настройки регуляторов расхода воздуха.

Апробация. Отдельные устройства и система вентиляции в целом демонстрировались на ярмарке изобретений Алтайского края в 2011 г., международных выставках «Алтайская нива» в 2007, 2008, 2010 гг. (г. Барнаул), в 2010 г. система вентиляции получила медаль этой выставки. Конструкция регулятора вошла в сборник лучших изобретений Алтайского края за 2006 г. Материалы диссертации

докладывались и получили одобрение на внутривузовских, городских и международных конференциях, проводимых в г. Барнауле в 2009-2011 гг., а также на совместном заседании отделов СибИМЭ, г. Новосибирск в 2011 г.

Структура и объем работы. Диссертационная работа содержит введение, пять глав, общие выводы. Текст диссертации изложен на 168 страницах, включает 28 рисунков, 14 таблиц, 111 наименований используемой литературы и 4 приложения.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 5 статей в изданиях по перечню ВАК, 4 патента на изобретения.

Основные положения, выносимые на защиту:

- математическая модель движения конвективных потоков воздуха в животноводческом помещении, позволяющая обосновать схему воздухообмена для экстремально низких температур наружного воздуха;
- методика расчета воздухообмена животноводческого помещения с чердаком при естественной вентиляции и мобильной раздаче кормов;
- классификация регуляторов расхода воздуха для устройств естественной вентиляции;
- обоснование конструктивных параметров регулятора расхода воздуха для вытяжных шахт естественной вентиляции;
- результаты влияния разработанной системы естественной вентиляции на основные параметры микроклимата и продуктивность животных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определена цель исследования, показана научная новизна и практическая ценность работы, изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ работ, выполненных по тематике рассматриваемой проблемы, сформулированы задачи исследований.

Установлено, что нормируемая температура воздуха в помещениях для КРС определена не только для животных, но и для возможности работы технологического оборудования, чем и можно объяснить противоречие во мнениях ученых по «холодному» и «теплому» способам содержания. Для зимнего периода расчет воздухообмена в помещениях с системами естественной вентиляции целесообразно проводить и для нижних граничных температур, при условии обеспечения газового режима в зоне нахождения животных. На обеспечение параметров микроклимата в условиях Сибири приходится основная часть затрат ресурсов. Здание решает основную задачу – локализует зону нахождения животных. На основе работ Г.К. Волкова, Д.Н. Мурусидзе, Н.М. Комарова, С.И. Плященко, В.П. Ожигова, Н.К. Раушенбаха, Е.Г. Егорова, А.А. Мельберт, Т.А. Стопаревой и ряда других авторов выявлено, что ресурсосбережение возможно только при комплексном подходе к

выбору типа здания, организации воздухообмена и системы вентиляции с их подчиненностью технологии содержания и виду животных при условии обеспечения возможности работы оборудования. На основании работ И.И. Свентицкого, И.П. Колесниченко, И.И. Тюхова, А.Г. Сотникова, О. Адомовски, В.Н. Расстригина, О.М. Османова, А.И. Николаева, Г.В. Никитенко выявлена возможность снизить, или полностью исключить энергозатраты в климатических зонах с экстремально низкими температурами за счет нетрадиционных источников энергии (гео- и гелиоколлекторы, теплообменники, био- и ветрогенераторы). Также установлено, что широкие здания в сравнении с узкими имеют меньшую относительную стоимость и теплопотери. В зданиях с чердаком теплопотери через перекрытие на 10% меньше в сравнении с совмещенным перекрытием и в межкрышное пространство поступает кондуктивным способом до 80% тепла, выделяемого животными, а через кровлю – излучением (со стороны Солнца в дневное время) до 120 Вт/м² тепловой энергии. Организация притока воздуха из межкрышного пространства позволяет обеспечить достаточный для нормального функционирования крупного рогатого скота воздухообмен при сохранении теплового баланса помещения. Общепринятая методика расчета теплового баланса для выбора систем естественной вентиляции не учитывает особенностей типа здания и взаимодействия в нем естественных конвективных потоков с потоками приточного воздуха, технологии содержания и работы технологического оборудования, причем расчет проводят только для переходного периода. Зимой воздухообмен рекомендуют ограничивать вручную, что ведет в практике к закрытию каналов притока и вытяжки из-за рассогласования и опрокидывания режима их работы. Снизить расход и температуру воздуха возможно без ущерба для животных, но при рациональной организации притока воздуха в зону дыхания и высоком качестве регулирования расхода воздуха. Работы Р.М. Славина, В.П. Туркина, С.В. Нефедова, Н.С. Маликовой, Н.М. Каленюка, Б.Н. Юрманова доказывают необходимость применения автоматических регуляторов прямого действия для систем естественной вентиляции. Однако известные устройства имеют сложные кинематические связи, значительную материалоемкость и габариты, отсутствует классификационный анализ регуляторов расхода воздуха. Не решены общие задачи по определению закона и диапазона регулирования, а также частные задачи, относящиеся к конструктивным параметрам.

Во второй главе предложена математическая модель движения естественных конвективных потоков в животноводческом помещении, уточнена методика расчета теплового баланса и воздухообмена здания с чердаком с забором воздуха из межкрышного пространства и подачей в зону дыхания животных, предложена классификация и обосновано конструктивное исполнение устройства для регулирования расхода воздуха в системах естественной вентиляции.

Большая ширина помещения позволяет рассматривать конвекцию, как происходящую в канале с твердой верхней и нижней стенками (рисунок 1). Рассмотрен

слой воздуха высотой h , находящийся в поле силы тяжести. Разность температур в зоне потолка ($T_0 + \Delta T$) и в зоне нахождения животных T_0 ведет к разности плотностей воздуха и созданию локальных конвекционных потоков. Поля распределения скорости, плотности и температуры изменяются во времени и описываются системой уравнений с частными производными:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \nabla) \vec{v} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{v} + \vec{g}; \quad (1) \quad \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(\vec{v} T) = \chi \nabla^2 T; \quad (3) \quad -\rho = \rho_0 [1 - \gamma(T - T_0)], \quad (4)$$

где $\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$ – векторный оператор Гамильтона (i, j, k – орты прямоугольной системы координат); $\vec{g}$ – ускорение силы тяжести; $p(x, y, z)$ – поле давлений; ν – коэффициент кинематической вязкости; χ – коэффициент теплопроводности; γ – коэффициент теплового расширения воздуха; ρ_0, T_0 – значения плотности и температуры воздуха, принятые за начальную точку отсчета.

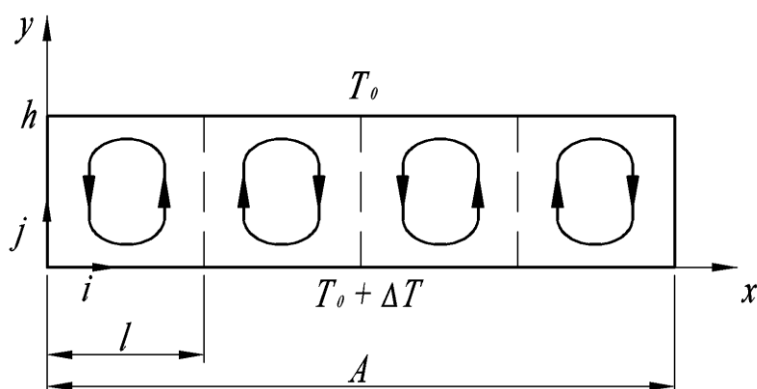


Рисунок 1 – Возможная конфигурация течений воздуха, возникающих при температурной конвекции

Уравнения (1-3), записанные в векторной форме, являются: (1) – уравнением Навье-Стокса, (2) – уравнением неразрывности, (3) – уравнением теплопроводности. Уравнение (4) устанавливает зависимость плотности воздуха от температуры. К поверхностям пола, стен, потолка воздух прилипает и его скорость равна нулю, т.е. обращаются в нуль все компоненты скорости и к уравнениям (1-4) нужно применить граничные условия, которые могут быть записаны в виде:

$$\left. \begin{aligned} u(0, y, t) &= 0 \\ v(x, 0, t) &= 0 \\ T(x, 0, t) &= T_0 + \Delta T \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} u(h, y, t) &= 0 \\ v(x, h, t) &= 0 \\ T(x, h, t) &= T_0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где u, v – проекции вектора скорости $\vec{v}$ на оси x и y .

При постановке пограничных условий мы воспользовались двумерной картиной конвекции, т.е. рассматриваем движение воздуха вдали от торцевых стен животноводческого помещения.

Таким образом, уравнения (1-4) и граничные условия (5) в совокупности составляют математическую модель свободной (естественной тепловой) конвекции в

широких ($B \gg h$) животноводческих помещениях большой вместимости. Но в таком виде математическая модель практически неразрешима и вводим допущения: а) зависимость плотности воздуха от температуры учитывается только в одном месте математической модели – в члене с подъемной (архимедовой) силой в уравнениях движения (приближение Буссинеска); б) откажемся от существенного влияния стен на качественную картину конвекционных движений в связи с малой суммарной площадью стен по отношению к площади пола и потолка.

При сделанных допущениях наша модель может быть сведена к гидродинамической модели Лоренца, записываемой в обыкновенных дифференциальных уравнениях. После проведения ряда преобразований, аппроксимации по методу Галеркина, возможно представление их в виде системы трех обыкновенных дифференциальных уравнений, но в новых переменных X, Y, Z :

$$\dot{X} = \sigma(Y - X), \quad \dot{Y} = rX - Y - XZ, \quad \dot{Z} = XY - bZ, \quad (6)$$

где $\sigma = \frac{\nu}{\chi}$; $b = \frac{4}{1+(h/l)^2}$; $r = \frac{R}{R_c} \sim \Delta T$,

R, R_c – число Релея и критическое число Релея:

$$R = \frac{g\gamma h^3 \Delta T}{\nu\chi}; \quad R_c = \frac{\pi^4}{\left(h/l\right)^2} \left[1 + \left(h/l\right)^2 \right]^4.$$

Управляющие параметры σ, b, r имеют следующий физический смысл. Параметр σ (число Прандтля) есть отношение коэффициента кинематической вязкости ν и коэффициента температуропроводности. Параметр b определяется геометрией конвекционной ячейки, а именно отношением ее вертикального h и горизонтального l размеров. Внешний управляющий параметр r , пропорциональный разности температур у пола и потолка коровника, есть отношение числа Релея R к критическому числу Релея R_c .

Хотя уравнения (6) нелинейны, но их анализ существенно проще, чем исходных уравнений (1-4), и сравнение с экспериментом для многих подобных систем показывает, что данная математическая модель дает правильную качественную картину развития конвекции в горизонтальном слое газа.

Проведенный расчет показал, что в широких животноводческих помещениях из трех возможных режимов естественной конвекции (устойчивый, стационарная циркуляция, стохастический) реализуется режим стохастической (турбулентной) конвекции, создающий застойную зону над животными с замкнутым изотермическим полем и подъемом изотерм над кормовым проездом. Приток воздуха из межкрышного пространства в кормовой проезд практически не будет противодействовать естественным конвекционным потокам, потери энергии потоков минимальны.

Расчет воздухообмена по теплоизбыткам при естественной вентиляции ведем с учетом возможности возврата тепла из межкрышного пространства:

$$Q_{жс} = Q_{огр} + Q_{инф} + Q_{вент} + Q_{исп} + Q_{ТП} - Q_{ТА}, \quad (9)$$

где $Q_{жс}$ – тепло, выделяемое животными, кВт; $Q_{огр}$, $Q_{инф}$, $Q_{исп}$, $Q_{ТП}$ – теплопотери ограждений, инфильтрации, испарения влаги, раздачи корма, кВт; $Q_{ТА}$ – тепло, аккумулированное в чердаке, кВт.

Шахты естественной вытяжки обычно рассчитывают по производительности для наружной температуры переходного периода минус 8°C. При дальнейшем понижении температуры (зимний период) необходимо синхронно уменьшать расход воздуха по всем шахтам, что сделать вручную невозможно. Регулятор расхода воздуха прямого действия (рисунок 2) изменяет местное сопротивление на входе каждой вытяжной шахты, путем перемещения створки относительно перфорированного корпуса, чем и достигаем синхронизацию регулирования. При этом крутящий момент от перепада давлений на створку определим по формуле:

$$M_F = (\zeta_M + C_x \sin \alpha) S_{\Pi} \frac{\rho v^2}{2} h, \quad (10)$$

где ζ_M – коэффициент местного сопротивления регулятора; v – скорость движения воздуха перед подвижным элементом, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления подвижного элемента регулятора; S_{Π} – площадь подвижного регулирующего элемента, м²; α – угол между плоскостью подвижного регулирующего элемента и вектором скорости воздуха; h – расстояние от центра действия сил давления до оси вращения подвижного элемента, м.

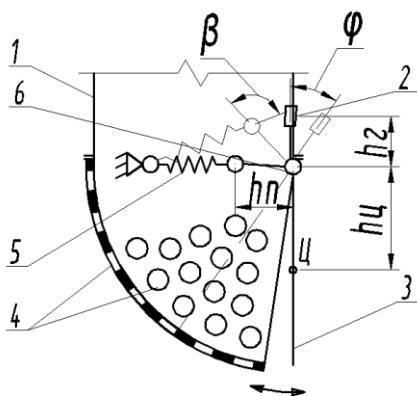


Рисунок 2 – Расчетная схема регулятора расхода воздуха: 1 – корпус; 2 – грузовой противовес; 3 – створка; 4 – перфорации; 5 – пружина; 6 – ось

Уравновешивающее приспособление противодействует перемещению створки и крутящий момент – для грузового противовеса:

$$M_{ур} = (m_{ц} h_{ц} - m_{г} h_{г}) \sin \varphi, \quad (11)$$

где $M_{ур}$ – уравновешивающий момент, Н·м; $m_{ц}$, $m_{г}$ – массы створки и груза, Н; $h_{ц}$, $h_{г}$ – расстояние от оси до центра масс створки и груза соответственно, м; φ – угол отклонения створки;

- для пружины:

$$M_{yp} = h_n \sin \beta (bx + c), \quad (12)$$

где h_n – длина рычага пружины; β – угол между осями рычага и пружины; $(bx+c)$ – жесткость пружины.

В любой точке нахождения подвижного регулирующего элемента возмущающее воздействие уравнивается реакцией противодействующего элемента:

$$M_F = M_{yp}. \quad (13)$$

Учитывая сложность определения расчетным путем коэффициента местного сопротивления, зависящего от числа Рейнольдса, конструктивные параметры регуляторов могут быть определены только экспериментально.

В третьей главе изложены цели и задачи экспериментальных исследований, приведено обоснование и характеристика экспериментальных объектов. Описана методика исследований микроклимата, работы естественной вентиляции и регулятора расхода воздуха на лабораторной установке, приведен перечень используемых контрольно-измерительных приборов.

Цель экспериментальных исследований данной работы заключается в оценке возможности повышения степени использования тепла животных для увеличения воздухообмена в помещении за счет использования тепла межкрышного пространства и снижении расхода воздуха, подаваемого в кормовые проезды (зону дыхания коров) при высоком качестве регулирования.

Задачи экспериментальных исследований состояли в следующем:

- определение общего и организованного воздухообмена, температурно-влажностного и газового режима в помещении в диапазоне наружных температур, характерных для Алтайского края в зимний период;
- определение конструктивных параметров регулятора расхода воздуха для диапазона и закона регулирования, определяемых характеристикой объекта регулирования;
- уточнение методики расчета теплового баланса помещения для граничных температур внутри и снаружи помещения;
- анализ влияния уменьшения воздухообмена и температуры в помещении при высоком качестве регулирования расхода на продуктивность КРС.

Исследования микроклимата проводились в коровнике на 350 голов и телятнике на 120 голов, оборудованных экспериментальной системой вентиляции, по общепринятой методике в трех точках по диагонали и высоте помещения, с дополнительными замерами в зоне приточных патрубков и характерном сечении. Исследования регулятора расхода воздуха проводились на лабораторной установке с использованием методики физического моделирования и плана активного многофакторного эксперимента.

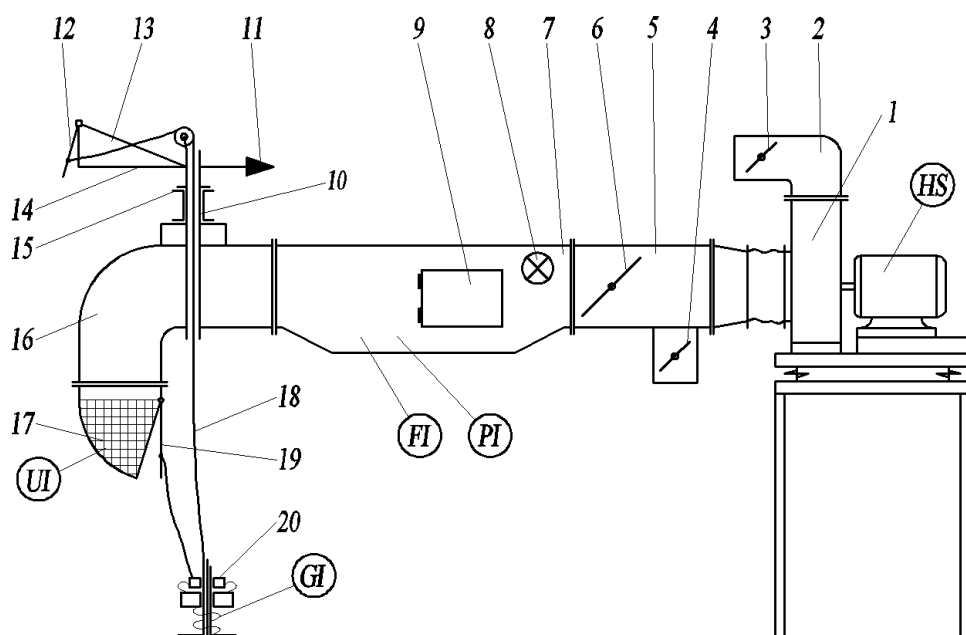


Рисунок 3 – Схема лабораторной установки для исследования регуляторов расхода воздуха: 1 – вентилятор; 2, 16 – колена; 3, 4, 6, 19 – клапан; 5 – тройник; 7 – воздуховод; 8 – лампа подсветки; 9 – люк прозрачный; 10 – труба; 11 – груз-противовес; 12 – пластина-датчик скорости движения воздуха; 13 – пластина-стабилизатор направления движения воздуха; 14 – штанга; 15 – ступица; 17 – регулятор расхода воздуха; 18 – тяга; 20 – уравнивающее приспособление (последовательно взаимодействующие грузы и пружины)

Таблица 1 – Масштабы и соотношения для пересчета основных физических величин

№ п/п	Физическая величина	Масштаб	Соотношения для пересчета	
			с натуры на модель	с модели на натуру
1.	Температура	$C_{\Delta t} = 1,0$	$\Delta t_M = \Delta t_H$	$\Delta t_H = \Delta t_M$
2.	Линейный размер	$C_l = 0,33$	$l_M = 0,33l_H$	$l_H = 3l_M$
3.	Скорость воздуха	$C_v = 0,57$	$v_M = 0,57v_H$	$v_H = 1,75v_M$
4.	Расход воздуха	$C_Q = 0,062$	$Q_M = 0,062Q_H$	$Q_H = 16,11Q_M$
5.	Давление	$C_{\Delta P} = 0,33$	$\Delta P_M = 0,33\Delta P_H$	$\Delta P_H = 3\Delta P_M$

Таблица 2 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Факторы	Перепад давлений $\Delta P_{ст}$, Па	Высота хорды отверстия h_k , м	Высота хорды створки h_c , м
Основной уровень (X_{i0})	20,00	0,00	0,00
Интервалы варьирования (ΔX_i)	14,00	0,030	0,020
Верхний уровень ($x_i = +1$)	34,00	0,030	0,020
Нижний уровень ($x_i = -1$)	6,00	-0,030	-0,020
Звездная точка - α ($x_i = -1,215$)	2,99	-0,036	-0,024
Звездная точка + α ($x_i = +1,215$)	37,01	0,036	0,024

В четвертой главе представлен характер развития приточных струй в продольном и поперечном характерных сечениях коровника с результатами замеров основных параметров микроклимата. Полученная экспериментальная математическая модель характеризует зависимость скорости движения воздуха от изменения перепада давлений на входе и выходе регулятора, формы отверстия в корпусе регулятора на участке поворота створки и кривизны последней:

$$y_1 = 1,051 + 0,235x_1 + 0,087x_2 + 0,058x_3 + 0,028x_1x_2 + 0,07x_1x_3 + 0,07x_1x_3 - 0,122x_1^2 + 0,122x_2^2 + 0,094x_3^2.$$

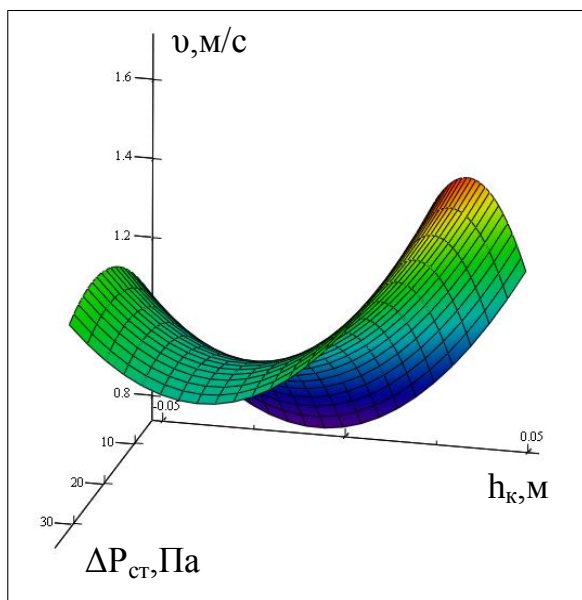
Регистрация угла отклонения створки от вышеперечисленных факторов позволила получить следующую модель:

$$y_2 = 43,873 + 17,83x_1 - 1,657x_2 - 4,618x_3 + 1,958x_1x_2 - 2,708x_1x_3 - 10,98x_1^2 - 0,918x_2^2 - 1,144x_3^2.$$

При проверке по критерию Фишера гипотеза об адекватности модели подтвердилась лишь для скорости воздуха. Уравнение регрессии в именованных единицах для скорости воздуха в корпусе регулятора:

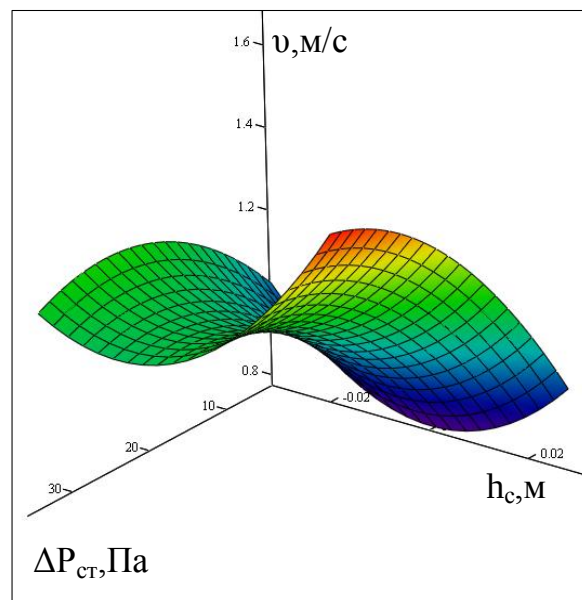
$$v = 0,466 + 0,0417\Delta P + 1,566h_k + 0,25 h_c - 0,0006P^2 + 135,6 h_k^2 + 235h_c^2. \quad (14)$$

По результатам эксперимента были определены конструктивные параметры регулятора – отверстие в форме треугольника, створка плоская, регулятор настроен на лабораторной установке, работающей в режиме стенда.



vhc

$$v=f(\Delta P_{cm}, h_k) \text{ при } h_c=-0,02 \text{ м } (x_3=-1)$$



vk

$$v=f(\Delta P_{cm}, h_c) \text{ при } h_k=0 \text{ м } (x_3=0)$$

Рисунок 4 – Поверхности отклика для скорости воздуха в вытяжной шахте

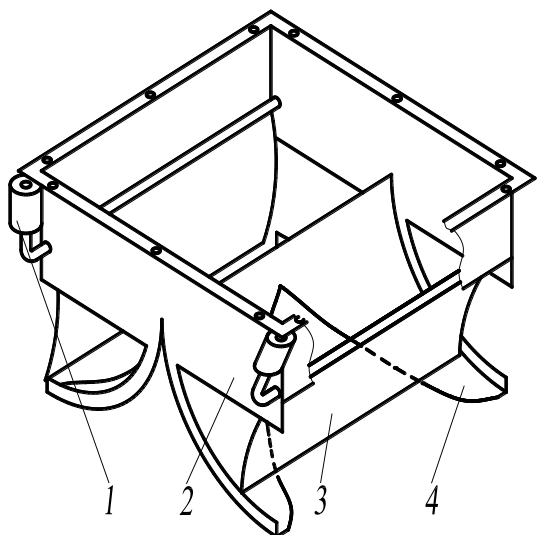


Рисунок 5 – Схема экспериментального образца двухсекционного регулятора расхода воздуха: 1 – противовес; 2 – плоская стенка корпуса; 3 – створка; 4 – криволинейная стенка корпуса

В пятой главе изложены результаты производственных испытаний экспериментальной системы вентиляции, проведенные в коровнике на 350 голов с привязным содержанием, доением в молокопровод, удалением навоза скребковым транспортером, уложенным в каналы глубиной 0,6 м и закрытым прутковой решеткой, мобильной раздачей кормов (КТУ-10), показали, что в сравнении с теплообменной пленочной разработанная имеет меньшую стоимость, больший срок службы и высокую надежность, не имеет энергозатрат при малых погрешностях регулирования и трудозатратах. Средняя температура в помещении близка к расчетной, концентрация аммиака не превышает 5 мг/м^3 , относительная влажность 80-85%. Годовой надой от одной коровы увеличен на 52 л, среднесуточный прирост живой массы телят на 143 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Из проведенного анализа следует, что крупный рогатый скот в естественных условиях способен легко переносить изменение температуры, относительной влажности и скорости движения. Это обеспечивается механизмом терморегуляции, созданным в процессе эволюции. Но у животных нет адаптации к изменению газового состава воздуха. При содержании животных в помещении воздухообмен ограничен, и газовый состав воздуха изменяется, причем определяющей вредностью является аммиак, способный накапливаться в организме. Его высокая концентрация, связывая гемоглобин в крови, снижает степень усвоения кислорода. Принятые температурные нормативы в помещениях для КРС обусловлены в большей мере не физиологией животных, а возможностью работы технологического оборудования, и созданием приемлемых условий для работы обслуживающего персонала.

2. Анализ и проведенные расчеты позволяют утверждать, что ресурсосбережение на обеспечение микроклимата возможно только при комплексном подходе к решению проблемы:

- применение более совершенных объемно-планировочных решений здания, что позволяет до 18% снизить теплопотери ограждающих конструкций, а исполнение здания с чердаком позволяет на 10% снизить теплопотери перекрытия. Межкрышное пространство может выполнять функции теплообменника и гелиоустановки. Широкое применение совмещенного перекрытия обусловлено технологичностью исполнения, снижением стоимости строительства и увеличением объема помещения, который выполняет функции накопителя воздуха при периодическом проветривании помещения и частично нейтрализует отсутствие или плохую работу вентиляции;

- сдерживающим фактором повышения эффективности естественной вентиляции в зимний период является ручное управление, где при высоких трудозатратах и погрешности регулирования, достигающей 600%, возможно опрокидывание режима работы приточных и вытяжных устройств с последующим прекращением их работы. Для систем естественной вентиляции необходима разработка регуляторов прямого действия с простыми кинематическими связями, что позволяет обеспечить независимость вентиляционных устройств от дополнительных энергоисточников при высокой эксплуатационной надежности.

3. Теоретический анализ позволяет считать, что при отсутствии вентиляции в помещении формируется изотермическое поле со стохастическими потоками над животными и подъемом изотерм над кормовыми проездами. Организация воздухообмена с притоком воздуха из межкрышного пространства снижает теплопотери через перекрытие. Подача воздуха в кормовые проезды через установленные в потолке короба с отражателями, при привязной, клеточной и боксовой технологии содержания, создаёт минимальные потери энергии взаимодействующих потоков. При этом в зоне дыхания животных обеспечивается комфортный газовый режим с уменьшением расхода воздуха за счет высокого качества управления.

4. Для устойчивой работы приточных устройств системы естественной вентиляции и обеспечения заданного расхода воздуха, в соответствии с тепловым балансом помещения, необходима нейтрализация воздействия расхода инфильтрационного воздуха и создание вытяжными шахтами заданного перепада давлений между помещением и межкрышным пространством не менее 2,6 Па. Заданный расход воздуха в вытяжной шахте способен обеспечить регулятор прямого действия. Классификация регуляторов по заданию диапазона и закона регулирования, а также конструктивным особенностям регулирующих элементов позволяет считать, что для вытяжных шахт целесообразен регулятор расхода с перфорированными стен-

ками на участке перемещения створки и последовательно взаимодействующими уравнивающими приспособлениями.

5. В коровнике на 350 голов с чердаком теплоизбытки на обеспечение воздухообмена при температуре наружного воздуха минус 40°C, без использования тепла межкрышного пространства, позволяют осуществить максимальный приток воздуха 4,6 м³/ч – днем и 2,9 м³/ч – ночью, против нормативного 17 м³/ч. Организация притока воздуха из межкрышного пространства позволяет осуществить возврат теплопотерь через потолок не менее 28% и в дневное время дополнительно использовать теплоту излучения Солнца до 0,15 кВт на 1 ц живой массы коровы, что позволяет повысить расход воздуха от 3,7-4,7 м³/ч – ночью до 6,0-12,3 м³/ч – днем. Температура воздуха в зоне кормовых проездов, в период экстремально низких температур наружного воздуха (минус 40°C и ниже), радиусе действия приточных струй до 2,2 м, величине зазора между отражателем и приточным патрубком 0,04 м и скорости воздуха в щелевом зазоре 0,5 м/с составляет 1-3°C, а в зоне нахождения животных 4-6°C при концентрации аммиака не более 7 мг/м³. Относительная влажность воздуха кратковременно достигает 85-95%.

6. Непрерывность притока максимально допустимого (заданного) количества воздуха по тепловому балансу помещения с погрешностью регулирования не более 13% способен обеспечить регулятор прямого действия (патент РФ № 2277206) с поворотной створкой, на участке перемещения которой боковые плоские стенки корпуса имеют отверстия в виде секторов, а стенка корпуса, противоположная створке, имеет отверстие в виде треугольника. Диапазон регулирования составляет 2,6-20 Па при стабилизирующем законе регулирования. Регулятор прост по конструкции, имеет малую удельную материалоемкость, независим от энергоисточников и может быть изготовлен в условиях сельских мастерских. Целесообразно проведение исследований по разработке следящих регуляторов, корректирующих расход воздуха в зависимости от температуры и скорости ветра.

7. Экспериментальные исследования и производственные испытания показали, что в зданиях с чердаком и забором воздуха из межкрышного пространства и подачей в кормовые проезды, естественные системы вентиляции с автоматическим регулированием расхода воздуха и в период экстремально низких температур способны создать параметры микроклимата не препятствующие проявлению генетического потенциала животных при воздухообмене меньше нормативного, обеспечивающие надой на корову более 6000 л в год и среднесуточный прирост живой массы молодняка КРС (телки) не менее 800 г.

8. По сравнению с существующей системой вентиляции, в частности, теплообменной пленочной, предложенная не уступает по эффективности, в 2 раза дешевле, по сроку службы превышает в 6-8 раз, снижает энергозатраты на 50 кВт·ч в сутки. Экономический эффект составил (в сравнении с теплообменной пленочной) для коровника на 350 голов с годовым надоем на одну корову 6252 л –

268 тыс. руб. в год, для телятника (в сравнении с естественной при притоке воздуха через фрамуги) на 120 голов со среднесуточным приростом живой массы 818 г – не менее 180 тыс. руб. в год. Срок окупаемости для коровника – не более одного стойлового периода, а для телятника – 2-4 месяца.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

В изданиях по перечню ВАК:

1. Капустин Н.И. Основы разработки конструкций стабилизаторов расхода воздуха / Н.И. Капустин, **В.Н. Капустин** // Вестник АГАУ. – 2004. – № 2 (14). – С. 220-225.

2. Капустин Н.И. Обоснование элементов приточно-вытяжной естественной вентиляции животноводческих помещений с автоматическим регулированием / Н.И. Капустин, **В.Н. Капустин**, И.Н. Бырдин // Вестник АГАУ. – 2009. – № 7 (57). – С. 58-61.

3. Федоренко И.Я. Классификация регуляторов расхода воздуха для систем вентиляции по конструктивному исполнению регулирующих элементов / И.Я. Федоренко, **В.Н. Капустин** и др. // Вестник АГАУ. – 2009. – № 8 (58). – С. 69-73.

4. **Капустин В.Н.** Результаты исследований взаимосвязи работы элементов регулирования расхода воздуха в шахте естественной вентиляции / В.Н. Капустин // Вестник АГАУ. – 2010. – № 6 (68). – С. 87-90.

5. Федоренко И.Я. Математическое моделирование свободной (естественной) конвекции в животноводческих помещениях большой вместимости / И.Я. Федоренко, Н.И. Капустин, **В.Н. Капустин** и др. // Вестник АГАУ. – 2010. – № 11 (73). – С. 66-70.

В других изданиях:

6. Капустин Н.И. Искусственные системы вентиляции / Н.И. Капустин, **В.Н. Капустин** // Алтай – село город. Барнаул. – 2000. – № 12. – С. 15.

7. Капустин Н.И. Вентиляционное оборудование предприятий переработки сельскохозяйственной продукции: учебное пособие / Н.И. Капустин, **В.Н. Капустин**. – Барнаул. – 2004. – 47 с.

В патентах:

8. Пат. RU № 2277206 Российская Федерация, МПК F24F 11/04. 13/08 Устройство для регулирования расхода воздуха / Н.И. Капустин, И.Я. Федоренко, В.А. Демин, **В.Н. Капустин**; Заявитель и патентообладатель Н.И. Капустин. – Заявка № 2004135681; заявл. 06.12.2004; опубл. 27.05.2006 г., Бюл. № 15.

9. Пат. RU № 2337277 Российская Федерация, МПК F24F 7/04. 13/10 Система вентиляции производственного помещения / Н.И. Капустин, И.Я. Федоренко,

В.А. Демин, **В.Н. Капустин**; Заявитель и патентообладатель Н.И. Капустин. – Заявка № 2007114857/06; заявл. 19.04.2007; опубл. 27.10.2008 г., Бюл. № 30.

10. Пат. RU № 2386903 Российская Федерация, МПК F24F 7/04. 13/10 Устройство для регулирования расхода воздуха / Н.И. Капустин, И.Я. Федоренко, В.А. Демин, **В.Н. Капустин** и др.; Заявитель и патентообладатель Н.И. Капустин. – Заявка № 200814864/06; заявл. 09.12.2008; опубл. 20.04.2010 г., Бюл. № 11.

11. Пат. RU № 2403505 Российская Федерация, МПК F24F 11/04. Устройство для подачи воздуха в помещение / Н.И. Капустин, И.Я. Федоренко, **В.Н. Капустин** и др.; Заявитель и патентообладатель Н.И. Капустин. – Заявка № 2009118173/06; заявл. 13.05.2009; опубл. 10.11.2010 г., Бюл. № 31.

Подписано в печать 16.05.2011 г. Формат 60х84/16.
Бумага для множительных аппаратов. Печать ризографная. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 23.

Издательство АГАУ
656049, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 98
62-84-26