

Новосибирский государственный аграрный университет
Инженерный институт

Энергосбережение и электроаудит в АПК

**Методические указания по выполнению
самостоятельной и контрольной работы**

Новосибирск 2022

УДК 620.9:338+631.371

Составители: **В.Н. Делягин**, д-р техн. наук, проф.
С.А. Никонов, ассистент
В.И. Бочаров, ст. науч. сотр.

Рецензент: **Н.Н. Гаршина**, канд. техн. наук, доц.

Энергосбережение и электроаудит в АПК: метод. указания по сам. и контр. работ / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: В.Н. Делягин, С.А. Никонов, В.И. Бочаров. – Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2022. – 52 с.

Содержат теоретические материалы курса данной дисциплины, вопросы для самоподготовки; методические указания по выбору варианта контрольной работы и пример ее выполнения; список рекомендованной литературы и приложения с табличными данными.

Предназначены для студентов очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол №8 от 29 марта 2022 г.).

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Энергосбережение и энергоаудит в АПК» содержит в себе такие разделы как электрический нагрев, электротехнологии, а также рациональное энергосбережение тепловой и электрической энергии, проведение аудита с помощью расчетов и программировании устройств расчета.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- основные положения, методы и законы естественнонаучных дисциплин;
- основы теории электромагнитного поля, термодинамики;
- основные величины, характеризующие тепловые, электрические и магнитные цепи и поля и единицы их измерения;
- принципы электрических измерений тепловых, электрических величин;
- принципы устройства основных электронных приборов и систем учета потребления энергоресурсов;
- свойства и области применения основных теплоэнергетических, электротехнологических и современные приемы и средства управления энергоэффективностью и энергосбережением;
- организацию контроля и учета использования энергоресурсов.

Уметь: применять основные законы естественнонаучных дисциплин по профессиональной деятельности:

- рассчитывать тепловые, электрические и магнитные поля в технологических процессах производства;
- выбирать элементы, параметры и оптимальные режимы работы электротехнологических и тепловых установок;
- анализировать работу энергетических устройств;
- обеспечивать эффективную и безопасную работу персонала с тепловыми, электрическими и электротехнологическими устройствами;
- использовать основные приемы осуществления энергетического анализа технологических процессов и устройств.
- оценивать функционально-экономическую эффективность технологических процессов и устройств, эффективность энергосберегающих мероприятий;
- пропагандировать идеи энергосбережения на всех уровнях производства.

Владеть:

- методами математического анализа, исследования, расчета и моделирования термодинамических и электромагнитных процессов в технологических процессах сельскохозяйственного производства;
- приемами использования средств измерения, методами определения погрешности и оценки результатов измерений.

ТЕМА №1 Введение в энергосберегающие электротехнологии и энергоаудит

Краткое содержание: Основные понятия, определения, терминология, классификация. Энергетические потоки в агроэкосистеме. Энергетическая эффективность производства сельскохозяйственной продукции. Эффективность энергосбережения в конечных технологических процессах. Энергетический анализ техно-

логических процессов. Электротехнологии как способ реализации энергосбережения на предприятиях АПК. Шкала электромагнитных волн. Спектральная характеристика солнечного излучения. Электронагрев в технологических процессах сельскохозяйственного производства. Использование электромагнитного поля непосредственно в процессах сельскохозяйственного производства. Электрофизические факторы в природе и их влияние на растения и животных. Энергетический баланс и энергетическое обследование предприятий. Методы энергетического анализа эффективности производства. Энергоаудит и энергетический паспорт предприятия. Системы учета потребления энергоресурсов на предприятии. Эффективность энергосбережения.

Методические указания

Следует четко представлять схему энергетических потоков энергоносителя от стадии производства, преобразования, транспорта и использования энергии в конкретном технологическом процессе. При анализе эффективности производства сельскохозяйственной продукции необходимо четко представлять схему энергетических потоков в агроэкосистемах. Оценку энергетической эффективности производства продукции следует производить с учетом прямых, косвенных и инвестиционных затрат энергии при производстве продукции. Для составления энергетического баланса при производстве сельскохозяйственных культур и продукции животноводства следует разделять техногенные энергетические потоки и преобразованные (трансформированные) формы энергии в виде химических соединений биологических систем. Особое внимание следует обратить на отличие энергетического анализа эффективности производства, имеющего четкую физическую природу, от экономических методов оценки. Студент должен сформировать физическую картину энергетических потоков в любом технологическом процессе и технологии в целом для объективного анализа эффективности производства продукции и методов их оптимизации.

Вопросы для самопроверки

1. Оцените эффективность реализации энергосберегающих технологий на различных стадиях энергетического потока при производстве сельскохозяйственной продукции.
2. Критерии оценки энергетической эффективности производства продукции АПК и их отличие от экономических критериев оценки.
3. В чем отличие электротехнологии и электронагрева как технологических процессов воздействия на биологические процессы.
4. Существующие методы анализа эффективности производства и их отличие от энергетических методов оценки эффективности производства.
5. Задачи, решаемые при проведении энергоаудита предприятия.

Тема 2 Основы теории и расчета электронагревательных устройств

Краткое содержание:

Элементы векторного анализа и теории поля. Поглощение энергии веществом в электромагнитном поле. Уравнения Максвелла. Оператор Лапласа и Гамильтона. Основы теории электрического нагрева. Нагрев при отсутствии потерь

теплоты в окружающую среду (дифференциальное уравнение, передаточная функция, динамические характеристики).

Тепловой расчет электронагревательных установок. Основы динамики нагрева. Определение мощности и основных конструктивных размеров ЭНУ. Виды теплопередачи. Конвекция, кондукция и лучеиспускание. Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи. Расчеты тепловой изоляции. Тепловой К.П.Д.

Методические указания

Изучение раздела рекомендуется начать с повторением элементов векторного анализа и теории поля из курса высшей математики, Теории электромагнитного поля (ЭМП), уравнений Максвелла и теоремы Умова-Пойнтинга из курса теоретических основ электротехники. Студент должен четко представлять физический смысл терминов и определений - поток векторного поля, дивергенция, ротор, операторы Гамильтона и Лапласа, разделять понятия тока проводимости и тока смещения, уметь решать дифференциальные уравнения первого и второго порядка применительно задачам по динамике нагрева. При изучении динамики нагрева следует особое внимание уделить графической интерпретации постоянной времени нагрева для однородного тела и графическому представлению кривых нагрева и охлаждения однородного тела.

Полученные знания по элементам нагрева необходимо сопоставлять с допущениями, принимаемыми при решении задач данного класса.

Вопросы для самопроверки

1. На каких открытиях сформированы уравнения Максвелла для электромагнитного поля.
2. Смысл законов Фарадея и Ампера.
3. Закон Гауса для электрических и магнитных полей.
4. Что является решением уравнений Максвелла.
4. Физический смысл уравнений Максвелла.
5. Виды теплопередачи Законы Фурье, Ньютона, и Стефана-Больцмана.
6. Определение коэффициента теплопередачи через стенку.
7. Определение (оценка) коэффициентов теплоотдачи для строительных конструкций производственных (животноводческих) и коммунально-бытовых помещений.

Тема 3. Электронагрев сопротивлением

Краткое содержание:

Способы электронагрева сопротивлением. Электрическое сопротивление металлических проводников. Основы электроконтактного нагрева. Выбор нагревательных трансформаторов. Основы электродного нагрева. Электродные нагреватели. Расчет электродных нагревателей. Электрические нагреватели сопротивления. Материалы для электрических нагревателей. Тепловой расчет электрических нагревателей. Электрический расчет нагревателей. Особенности расчета стальных нагревателей. Трубчатые электронагреватели. Нагревательные провода и кабели. Приближенные методы расчета нагревателей.

Методические указания

При изучении данного раздела необходимо четко представлять физический смысл понятие электропроводности и ее антипода - сопротивление электрическому току. способности тела (среды) проводить электрический ток, свойство тела или среды, определяющее возникновение в них электрического тока под воздействием электрического поля. Электропроводность среды (вещества) связана со способностью заряженных частиц (электронов, ионов), содержащихся в этой среде, достаточно свободно перемещаться в ней. Величина электропроводности и ее механизм зависят от природы (строения) данного вещества, его химического состава, агрегатного состояния, а также от физических условий, прежде всего таких, как температура.

Электропроводность всех веществ связана с наличием в них носителей заряда – подвижных заряженных частиц (электронов, ионов) или квазичастиц (дырок в полупроводнике), способных перемещаться в данном веществе на большое расстояние, упрощенно можно сказать, что имеется в виду что такая частица или квазичастица должна быть способна пройти в данном веществе сколь угодно большое, по крайней мере, макроскопическое расстояние, хотя в некоторых частных случаях носители могут меняться, рождаясь и уничтожаясь (вообще говоря, иногда, возможно, и через очень небольшое расстояние), и переносить ток, сменяя друг друга¹.

Студент должен хорошо представлять алгоритм вывода уравнения Джоуля-Ленца с использованием элементов теории электромагнитного поля и методику его экспериментального подтверждения, отличия прямого и косвенного нагрева вещества. Должен знать отличие физических процессов при электродном (прямом) и косвенном нагреве веществ, особенности работы электродных водонагревателей в технологических процессах сельскохозяйственного производства. Уметь с использованием справочной литературы рассчитать требуемую тепловую мощность устройства и его электрофизические параметры (сопротивление, сечение и длину проводника, плотность тока, коэффициенты теплопередачи и теплоотдачи).

Вопросы для самопроверки

1. Электронная и иная проводимость вещества.
2. Закон Джоуля-Ленца.
3. Параметры и алгоритм электрического расчета нагревателей.
4. Параметры и алгоритм теплового расчета электрических нагревателей.
5. Алгоритм расчета электродного водонагревателя.
5. Алгоритм расчета нагревателя, использующего косвенные методы нагрева (электронагрев сопротивлением).
6. Особенности расчета стальных нагревателей как элементов с нелинейной характеристикой по току.
7. Алгоритм расчета электродных парогенераторов.
8. Особенности расчета нагревательного провода в животноводческих помещениях.

Тема 4. Электродный и индукционный нагрев

Краткое содержание:

Свойства и характеристики электрической дуги. Параметры источников сварочного тока. Источники сварочного тока. Особенности индукционного нагрева. Индукторы (индукционные нагреватели). Энергетические соотношения системы индуктор-изделие. Режимы и оптимальная частота высокочастотного индукционного нагрева. Расчет индукторов. Определение реактивной мощности потребляемой индукционными нагревателями. Использование индукционных нагревателей в системах теплоснабжения и ремонтных мастерских на предприятиях АПК. Энергосбережение при индукционном нагреве.

Методические указания

Рекомендуется изучение индукционного способа нагрева после рассмотрения зависимости удельной мощности электромагнитного поля (действительная часть вектора Пойнтинга ЭМП) поступающей в проводник и глубины проникновения ЭМП от характеристик ЭМП и взаимодействующего вещества (материала). Наряду с этим необходимо четко представлять зависимость мощности потока энергии ЭМП от конфигурации индуктора. Особое внимание следует обратить на зависимость глубины проникновения тока от частоты ЭМП.

При рассмотрении электродного нагрева необходимо четко представлять физические процессы при возникновении устойчивого самостоятельного разряда в газах или парах металлов - процесс возбуждения, формирование анодной и катодной области, направление и динамика участвующих носителей зарядов (электроны, ионы). Наряду с этим, в процессе изучения электродного нагрева необходимо четко представлять статические вольт-амперные характеристики электрической дуги и источников питания и их аналитические выражения. Особое внимание следует обратить на условие устойчивости электрического разряда.

Вопросы для самопроверки

1. Физические процессы в системе индуктор - нагреваемое тело. Зависимость мощности, выделяемой в нагреваемом веществе от электрофизических параметров материала и ЭМП.
2. Что такое коэффициент поглощения мощности.
3. От чего зависит глубина проникновения ЭМП в металлах.
4. Использование поверхностного эффекта при закалке деталей машин.
5. Анодная и катодная области при возникновении электрической дуги.
6. Статические вольт-амперные характеристики электрической дуги.
7. Способы регулирования тока в сварочных трансформаторах.
8. Спектр ЭМП при дуговом разряде и меры безопасности для защиты персонала.

Тема 5. Инфракрасный и диэлектрический нагрев

Краткое содержание:

Спектральное распределение интенсивности излучения абсолютно черного тела. Инфракрасный спектр излучения. Физические процессы и механизм возникновения инфракрасного излучения. Закон Планка - зависимость спектральной

плотности излучения абсолютно черного тела от длины волны и температуры тела излучения. Закон Вина. Закон Кирхгофа - зависимость отношения излучательной способности тела к поглощающей как функция длины волны и температуры тела. Закон Стефана-Больцмана. Электрические излучатели. Расчет энергетической облученности тела. Энергосбережение при использовании инфракрасных (ИК) обогревателей.

Диэлектрический нагрев. Диэлектрики. Количество свободных электронов в диэлектрике. Диполь в переменном электрическом поле. Тепловые потери при переориентации диполя. Полный ток в диэлектрике, как сумма токов поляризации (смещение диполя) и тока смещения в вакууме пропорционален, изменению вектора электрического смещения во времени. Угол диэлектрических потерь. Активная мощность поглощаемая в единице объема и ее зависимость от частоты и напряженности электрического поля, свойств нагреваемого тела.

Методические указания

При изучении инфракрасного нагрева необходимо прежде всего понимать физические процессы протекающие при излучении абсолютно черного тела как следствие обратимого явления преобразование тепловой энергии тела в энергию электромагнитных волн и наоборот - энергия полученная телом от излучения затрачивается на увеличение вращательных и колебательных движений молекул тела т.е. ведет к увеличению температуры тела. Эффективность теплового воздействия инфракрасного излучения объясняется тем что максимальная поглощающая способность большинства тел лежит в инфракрасной части спектра (0.76-420 мкм). Полезно всегда помнить, что (следствие закона Планка) чем выше температура тела, тем больше максимум излучения сдвигается в более коротковолновую часть спектра. Как правило, вещества обладающие высокой излучательной способностью имеют и большую поглощающую способность. Мощность излучения при инфракрасном нагреве пропорциональна четвертой степени температуры (при конвекции и кондукции - первой степени) что обуславливает высокие мощности и высокий энергетический КПД процесса (высокое энергосбережение). Необходимо помнить, что ИК-нагрев обладает высокой селективностью, обусловленную индивидуальным спектром поглощения вещества. Используя данное свойство можно реализовать селективный нагрев смеси веществ с различными оптическими характеристиками. Необходимо отметить что ИК-нагрев имеет существенный недостаток -излучение проникает на сравнительно малую толщину взаимодействующего вещества. Диэлектрический нагрев, прежде всего, характеризуется очень высокой скоростью нагрева по всей массе (объеме) тела. Градиент температуры имеет общее направление от центра к периферии, что создает предпосылку для качественного и быстрого нагрева, обуславливающий низкий расход энергии.

Вопросы для самопроверки

1. Спектральное распределение интенсивности излучения Солнца.
2. Чем обусловлено излучение тел в инфракрасном диапазоне.
3. Расчет облученности тел при ИК-нагреве
4. Селективность ИК-нагрева.
5. Чем обусловлен высокий энергетический КПД при ИК-нагреве.

6. Физические процессы в диэлектрике при наложении переменного электрического поля.

7. Зависимость мощности диэлектрического нагрева от параметров ЭМП и характеристик нагреваемого тела.

8. Достоинства диэлектрического нагрева.

Тема 6. Электронагревательные установки сельскохозяйственного назначения

Краткое содержание:

Электронагрев как средство проведения энергосберегающей политики в АПК. Расчет потребной производительности водонагревателей и их выбор. Электродные водогрейные котлы. Элементные водонагреватели. Электродные паровые котлы. Электрокотельные. Основные правила безопасной эксплуатации электродных котлов и водонагревателей. Роль и оптимальные параметры микроклимата. Общий расчет и устройство систем обеспечения нормируемого температурно-влажностного режима помещений. Методы оптимизации теплового режима животноводческих помещений. Вентиляционно-отопительные и электрокалориферные установки в животноводстве. Электроотопление бытовых потребителей. Средства местного электрообогрева молодняка животных.

Электронагрев в процессах тепловой обработки и хранения сельскохозяйственной продукции. Установки активного вентилирования с электроподогревом воздуха. Электротерморadiационные сушилки. Сушка в электрическом поле высокой частоты. Электротепловая обработка кормов. Электрооборудование картофелехранилищ.

Области использования электронагрева в закрытом грунте. Способы электрического обогрева почвы и воздуха. Расчет устройств электрообогрева. Управление теплопроизводительностью электротермических установок. Особенности эксплуатации и техники безопасности. Электросварочное оборудование. ВЧ и СВЧ установки в технологических процессах сельскохозяйственного производства. Технико-экономический расчет систем электротеплоснабжения потребителей.

Методические указания

При изучении раздела следует четко представлять основные преимущества и недостатки электронагрева в каждом технологическом процессе перед тепловыми установками, работающими на традиционном топливе (нефтепродукты, уголь, газ). Важно знать, что чем меньше установленная мощность, время использования максимума нагрузки и более неравномерен режим потребления тепловой энергии тем выше эффективность электронагрева. Необходимо помнить, что при прямом сравнении традиционной тепловой установки, работающей на качественном жидком топливе расходы первичного топлива примерно в два с половиной раза выше. Перерасход первичного топлива может быть скомпенсирован прежде всего за счет более качественного регулирования процесса (экономия около 20...25%), отсутствию дополнительных потерь энергии при резкопеременном графике тепловой нагрузки, более высоком энергетическом КПД теплогенерирующей установки использующей электромагнитные процессы - до 40% к общему теплоснабле-

нию) и высоким эксплуатационным свойствам электроустановок (низкие затраты труда, практически полное исключение размораживания системы, низкая аварийность основного электротехнического оборудования.). Рекомендуется при обосновании использования электронагрева выполнить подробный технико-экономический расчет эффективности использования электроэнергии на тепловые цели.

Вопросы для самопроверки

1. В чем отличие расчета парового котла от водогрейного.
2. Тепловой и влажностный баланс животноводческого помещения.
3. По каким определяющим вредным веществам проводится расчет объема вентилируемого воздуха животноводческих и птицеводческих помещениях.
4. Способы утилизации теплоты вентиляционных выбросов.
5. Системы управления вентиляционно-отопительными установками.
6. Алгоритм расчета электроподогрева подаваемого воздуха для бункера активного вентилирования зерна.
7. Особенности расчета систем поддержания нормируемого микроклимата овощехранилищ.
8. Особенности расчета систем поддержания нормируемого микроклимата в закрытом грунте.
9. Эффективность систем электротеплоснабжения животноводческих ферм.
10. Преимущества и недостатки использования электроэнергии в тепловых процессах АПК.

Тема 7. Электротехнологии в АПК

Краткое содержание:

Использование электрического поля коронного разряда. Электрзерноочистительные машины. Осаждения в электрическом поле. Предпосевная обработка семян в электрическом поле высокого напряжения промышленной частоты. Аэроионизация в животноводстве и птицеводстве. Электрообработка грубых кормов. Применение электроосмоса для повышения плодородия почв. Электрорассоление засоленных почв. Воздействие электрического тока на растения. Электрические изгороди. Электроискровая обработка металлов. Электрогидравлический эффект и его использование. Использование импульсов высокого напряжения в процессах растениеводства. Природа и свойства ультразвука. Генерирование ультразвука. Использование магнитного поля для очистки семян. Магнитная очистка кормов от железных частиц. Магнитная обработка воды.

Методические указания

Электротехнологии, реально используемые в АПК, основаны на использовании коронного разряда. Очень важно понять суть коронного разряда - это самостоятельный газовый разряд, возникающий в резко неоднородных полях у электродов с большой кривизной поверхности (острия, тонкие провода). Зона вблизи такого электрода характеризуется значительно более высокими значениями напряженности поля по сравнению со средними значениями для всего промежутка. Когда напряжённость поля достигает предельного значения (для воздуха около 30 кВ/см), вокруг электрода возникает свечение, имеющее вид короны. При ко-

ронном разряде ионизационные процессы происходят только вблизи коронирующего электрода. Коронный разряд возникает при сравнительно высоком давлении воздуха (порядка атмосферного). При изучении электрического поля коронного разряда следует различать собственно коронный разряд - процесс интенсивного образования ионов при превышении определенного напряжения между электродами и, собственно, электрический разряд при пробое межэлектродного пространства. Отрицательные ионы поглощаются частицами, вносимыми в электрическое поле, которые приобретают отрицательный заряд, зависящий от напряженности электрического поля, относительной диэлектрической проницаемости частицы. Сила, действующая на заряженную частицу в электрическом поле пропорциональна напряженности поля и величине заряда частицы. На этом принципе и основано использование электрических полей в различных технологических процессах АПК. Примерно аналогичную картину можно наблюдать и при электроосмосе - перемещении ионов к отрицательному и положительному электроду с захватом молекул воды.

Электрический разряд в жидкости при определенных условиях сопровождается высокими давлениями и высокой температурой. Мощность при кратковременном ($10^{-5} \dots 10^{-6}$ с) разряде может достигать десятки и сотни и тысячи киловатт (обеззараживание продуктов, стерилизация отходов, штамповка изделий).

Вопросы для самопроверки

1. Принцип действия электротермоочистительных машины
2. Предпосевная обработка семян в электрическом поле высокого напряжения промышленной частоты
3. Аэроионизация в животноводстве и птицеводстве
4. Методы использования электроосмоса для повышения плодородия почв
5. Воздействие электрического тока на растения
6. Электрогидравлический эффект и его использование
7. Использование импульсов высокого напряжения в процессах растениеводства
8. Природа и свойства ультразвука
9. Использование магнитного поля для очистки семян

Тема 8. Энергосбережение в технологических процессах АПК

Краткое содержание:

Эффективность энергосбережения у конечного потребителя (пищевая цепь). Структура энергетических потоков на многоотраслевой ферме. Технико-экономический и энергетический анализ эффективности энергосбережения у конечного пользователя. Метод энергетического анализа производственного процесса. Энергетические эквиваленты затрат. Энергосодержание продукта. Коэффициент энергетической эффективности производства.

Топливо-энергетический баланс предприятия. Структура потребления энергоресурсов по технологическим процессам сельскохозяйственного производства. Энергоемкость процессов производства сельскохозяйственной продукции и направления ее оптимизации. Наиболее эффективные мероприятия по энергосбе-

режению при производстве продукции животноводства, растениеводства и коммунально-бытового сектора.

Методические указания

При изучении данного раздела, прежде всего необходимо уяснить приоритетность энергосбережения у конечного потребителя энергии. Используя методы энергетического анализа (соотношение затраченной энергии при производстве продукта к содержащейся в нем энергии) целесообразно оценить энергетическую эффективность процесс и определить пути снижения энергоемкости производства.

При анализе следует избегать простого суммирования техногенной энергии и энергии, заключенной в биохимических системах живых организмов, электрической и тепловой энергии. Следует понимать, что энергетический анализ эффективности производства является дополнительным к развернутому экономическому анализу эффективности производства, свободному от искусственных конструкций рыночной экономики.

Вопросы для самопроверки

1. Энергетический эквивалент затрат и энергосодержание продукта.
2. Энергетический коэффициент эффективности производства.
3. Структура энергетического баланса сельскохозяйственного предприятия.
4. Энергоемкость основных сельскохозяйственных продуктов.
5. Структура энергетических потоков на многоотраслевой ферме.
6. Наиболее энергоемкие производственные процессы в АПК.
7. Направления снижения энергоемкости производственных процессов в АПК.

Тема 9. Энергоаудит

Краткое содержание:

Цели и задачи энергетического обследования. Организация энергетического обследования. Порядок проведения энергетического обследования.

Значение терминов: теплофизические характеристики, энергоноситель (природный, произведенный). Значение терминов: топливо-энергетические ресурсы (первичные, вторичные, возобновляемые), полезная энергия, потеря энергии. Понятие «рациональное или эффективное использование топливо-энергетических ресурсов», «Энергоустановка». Энергоёмкость производства продукции. Экономия и непроизводственный расход топливо-энергетических ресурсов. Коэффициент полезного использования энергии. Энергосберегающая технология. Энергосбережение, показатель энергосбережения, энергетическое обследование. Топливо-энергетический баланс. Энергоаудит. Потребитель топливо-энергетических ресурсов. Нормативно-методическое обеспечение энергосбережения. Объекты энергетического обследования. Структура и содержание энергетического паспорта. Основные направления энергосбережения. Функциональные возможности лаборатории энергоаудита. Энергетическая эффективность зданий и сооружений и мероприятия по энергосбережению в них. Энергосбережение в системах отопле-

ния, вентиляции и кондиционирования воздуха. Энергосбережение за счет использования альтернативных источников энергии. Энергосбережение за счет использования вторичных энергоресурсов. Основные организационные и технические мероприятия энергосбережения. Основные мероприятия энергосбережения на предприятиях АПК. Пути экономии электроэнергии при эксплуатации электроустановок и проектировании новых. Основные положения, цели и задачи энергоаудита. Приборное обеспечение энергоаудита. Поверка средств измерений. Метрологическое и термографическое обследование потребителей. Аналитический обзор энергетической деятельности предприятий. Оценка энергоэффективности оборудования предприятий.

Вопросы для самопроверки

1. Энергетический паспорт предприятия.
2. Требуемое приборное обеспечение при энергоаудите предприятий.
3. Оценка погрешности измерений потребляемой тепловой энергии, газа и пара.
4. Технические системы учета потребления энергии и вещества.
5. Правовые документы по энергоаудиту предприятий.
6. Методы составления энергетического баланса энергоустановок, предприятий.
7. Методы расчета теплового баланса помещения.
8. Определение оптимального термического сопротивления ограждающей конструкции.
9. Определения тепловых потерь для жилого дома.
10. Определение тепловых потерь в теплотрассе.
11. Определение вентиляционных потерь производственного здания.
12. Эффективность использования вторичных энергоресурсов в животноводческих помещениях.

1. ЗАДАНИЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯМ И ЭНЕРГОАУДИТУ

Цель работы - расчет параметров и режимов работы систем обеспечения температурно-влажностного режима животноводческих помещений: потребляемая максимальная мощность, годовое потребление энергии, режимы работы.

Студенты имеющие последнюю цифру в зачетной книжке выполняют расчет для следующих объектов;

0 – молочнотоварная ферма на 200 голов (коровник на 200 голов, телятник на 300 голов, размеры зданий (коровник, телятник), размер 68*8*3.5м.

1 – молочнотоварная ферма на 400 голов (коровник на 200 голов, телятник на 300 голов, размеры зданий (коровник-два здания, телятник) 68*8*3.5 м.

2 – молочнотоварная ферма на 800 голов (коровник на 400 голов, телятник на 300 голов, размеры зданий (коровник-два здания по 400 гол.), 82*14*4.5 м, телятник -2 здания по 300 гол, 68*8*3.5.

3 – помещение для содержания молодняка крс с 6...12 месяцев на 340 голов, 42*18*3.5 м), помещение для выращивания молодняка с 12 до 18 месячного возраста, 280 голов, 32*18*3.5.

4 – молочно-товарная ферма с привязным содержанием на 100 дойных коров, 40*18*3.5 м)

5 – свинарник-откормочник на 800 голов, помещение размером 60*18*3 м.

6 – свинарник-откормочник на 1600 голов, помещение размером 105*21*3 м.

7 – свинарник-откормочник на 3000 голов, помещение размером 75*30*3 м.

8 – птицеводческое помещение на 36800 кур-несушек, одно помещение 105*18*3.0 м.

9 – птицеводческое помещение на 18000 кур (куры-несушки), одно помещение 60*18*3.0 м).

Студенты, имеющие предпоследнюю последнюю цифру в зачетной книжке, выполняют расчет для следующих регионов (параметры климата):

0 –Новосибирская область;

1...2- Алтайский край;

3...4- Кемеровская область;

5...6- Омская область;

7...8- Томская область;

9...0- Красноярский край;

2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Представленный пример расчета параметров температурно-влажностного режима животноводческих помещений составлен по [15]–[51].

2.1 Формирование исходных данных по расчету системы обеспечения температурно-влажностного режима помещений

Расчет производится для типового коровника на 200 голов. Средняя масса коровы 500 кг. Уровень лактации 9 л.

По табл. П.1 находим расчетную температуру наружного воздуха для системы обеспечения температурно-влажностного режима помещений. Расчетная зимняя температура наружного воздуха для расчета теплопотерь через ограждающие конструкции принимаем $t_n = -30$ °С, расчетная наружная температура для систем вентиляции принимаем равной $t_{н.в.} = -30$ °С, расчетная температура внутри помещения $t_в = 10$ °С. (Табл. П2.1)

Здание запроектировано одноэтажным, прямоугольной формы с размерами в плане 78 × 21 м., высота 3.8 м, окна 45 шт. размером 1.3*1.0 м.

Расчетные параметры температуры и влажности воздуха:

- наружного воздуха -30 °С;

- внутреннего воздуха $+10$ °С;

- относительная влажность внутреннего воздуха расчетная -75%

Наружные стены толщиной в два кирпича, оштукатуренных изнутри.

Пол бетонный с деревянными щитами:

- шлаковая подготовка $\delta = 0,1$ м; $\lambda = 0,29$ Вт/м⁰С;
- бетонное основание $\delta = 0,6$ м; $\lambda = 1,45$ Вт/м⁰С;
- деревянные скаты $\delta = 0,037$ м; $\lambda = 0,17$ Вт/м⁰С;
- ширина пола 20 м; длина 77 м.

Высота до низа выступающих конструкций 3,5 м. Каркас полный железобетонный.

Фундаменты под капитальные внутренние стены ленточные из сборных бетонных блоков, а под колонны - из сборных железобетонных башмаков по ГОСТ 24022-80. Стены кирпичные (два кирпича, оштукатурены). Гидроизоляция стен из слоя цементного раствора состава 1 : 2, толщиной 20 мм. Цемент марки 400. Для защиты здания от поверхностных вод вдоль наружных стен устраивается асфальтовая отмостка по щебеночному основанию.

Кровля из асбестоцементных листов с уклоном 15 °:

- асбестоцементные листы ($\delta = 0,01$ м, $\lambda = 0,49$ Вт/м⁰С);
- пароизоляция (битум) ($\delta = 0,02$ м, $\lambda = 0,27$ Вт/м⁰С);
- маты минераловатные ($\delta = 0,07$ м, $\lambda = 0,07$ Вт/м⁰С);
- железобетонные плиты ($\delta = 0,15$ м, $\lambda = 1,98$ Вт/м⁰С).

Кровля из асбестоцементных листов с уклоном 15 °.

Полы цементные и деревянные. Окна - деревянные, с расстоянием между стеклами 10 см (рамы двойные). Количество окон с размерами 1,82 × 0,8 м - 19 шт.

Ворота - 4 шт. с размерами 2,6 × 2,7 м.

Дверной блок Д1 – 5 шт. с размерами 1,20 × 2,08 м.

Отделочные работы: Заделки в керамзитобетонных панелях оштукатуриваются, внутренние стены и перегородки выполняются с расшовкой швов. Внутренние стены и потолки белятся известью за два раза с 5% гидрофабирующим раствором из кремнийорганических продуктов. Окна, двери и ворота деревянные. Окрашиваются масляной краской.

Примечание. Теплоизоляционные материалы могут быть приняты по усмотрению студента, (табл. 4.1- 4.4).

Теплотехнические расчеты ограждающих конструкций зданий следует производить в соответствии с СП 50.13330, при этом коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждений следует принимать: для стен помещений, где заполнение животными составляет более 80 кг живой массы на 1 м² площади пола - 12 Вт/(м² · °С) [10 ккал/(м² · ч · °С)]; для стен помещений, где заполнение животными составляет 80 кг и менее живой массы на 1 м² пола, и для потолков (чердачных перекрытий или покрытий) всех животноводческих и птицеводческих зданий - 8,7 Вт/(м² · °С) [(7,5 ккал/(м² · ч · °С)].

3. Определение установленной мощности и расхода энергии системами отопления и горячего водоснабжения (типовое помещение-коровник на 200 голов)

3.1. Уравнение теплового баланса животноводческого помещений

$$Q_{\partial} = Q_{y\partial} + Q_{o\partial p} + Q_{исп} - Q_{жс}^{св}$$

где Q_{∂} – мощность системы обеспечения требуемого температурно-влажностного режима помещений, Вт;

$Q_{y\partial}$ – теплота, необходимая на подогрев приточного воздуха, Вт;

$Q_{o\partial p}$ – теплопотери через ограждающие конструкции, Вт;

$Q_{жс}^{св}$ - тепловыделения от животных, Вт.

Расчет теплоступлений от животных, Вт

$$Q_{жс}^{св} = 1,163 * 10^{-3} * n * q_{св} * k_t$$

где $1,163 * 10^{-3}$ - переводной коэффициент ккал/ч в кВт;

n – поголовье животных (200 коров);

$q_{св} = 696$ ккал/ч – свободные тепловыделения коров по нормам, табл П1;

k_t – температурный коэффициент по нормам, табл 1.

$$Q_{жс}^{св} = 1.163 * 10^{-3} * 200 * 724 * 1.00 = 169 \text{ кВт.}$$

Таблица 1- Поправочные коэффициенты для коррекции выделений свободного тепла и влаги животных

Температура воздуха, °C	Поправочный коэффициент для животных	
	свободное тепло	водяные пары
-10	1.31	0.61
-5	1.19	0.67
0	1.08	0.76
5	1.05	0.86
10	1	1
15	0.96	1.24
20	0.93	2.04
25	0.89	2.49

3.2 Расчет теплопотерь через ограждения

$$Q_{o\partial p} = Q_{ст} + Q_n + Q_{пол} + Q_{ок} + Q_{\partial в} =$$

$$= \left[\frac{F_{ст}}{R_{ст}} + \frac{F_n}{R_n} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} + \sum_1^3 \frac{F_{зони}}{R_{зони}} + \frac{F_{\partial в}}{R_{\partial в}} \right] (t_{в} - t_{н}) * 10^{-3}.$$

где $Q_{ст}, Q_{н}, Q_{пол}, Q_{ок}, Q_{дв}$ - теплопотери через стены, пол, потолок, окна и двери;

$F_{ст}, F_{н}, F_{ок}, F_{зон}, F_{дв}$ - площади наружных стен, потолка, окон, пола и дверей (размеры принимаем по типовому проекту коровника на 200 голов);

$R_{ст}, R_{н}, R_{ок}, R_{зон}, R_{дв}$ - сопротивление теплопередаче элементов ограждающих конструкций;

$t_{в}, t_{н}$ - расчетная температура внутреннего и наружного воздуха по СНиП, табл. П2 и табл. П3.

$$F_{ст} = F_{ст}^1 - F_{ок} - F_{дв} = (78 * 2,7) * 2 + (21,0 * 2,7) * 2 - (1,3 * 1,0) * 45 - (2,6 * 2,7) * 4 - (1,2 * 2,08) * 12 = 418 \text{ м}^2$$

Определяем минимально допустимое сопротивление стен теплопередаче из условия не выпадения конденсата на их поверхностях

$$R_{ст} = \frac{(t_{в} - t_{н}^1)}{\alpha_{вст}(t_{в} - \tau_p)}$$

где $t_{в} = +5^{\circ}\text{C}$; $t_{н}^1 = -30^{\circ}\text{C}$; $\tau_p = +2^{\circ}\text{C}$; $\alpha_{вст} = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

$$R_{ст} = \frac{(10 - (-30))}{8,7(10 - 2)} = 0,574^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}.$$

Для наружных стен толщиной в два кирпича, оштукатуренных изнутри:

$$\lambda_{к} = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C}; \quad \delta_{к} = 0,51 \text{ м};$$

$$\lambda_{шт} = 0,93 \text{ Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C}; \quad \delta_{шт} = 0,015 \text{ м};$$

$$R_{в} = 0,115^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}.$$

Подставив числовые значения, получим:

$$R_{ст} = 0,115 + \frac{0,015}{0,93} + \frac{0,51}{0,81} + 0,043 = 0,80^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}.$$

Как видно из расчета, сопротивление теплопередаче стен удовлетворяет условию не выпадения конденсата на стенах при внутренних параметрах воздуха:

$$t_{в} = +10^{\circ}\text{C} \quad \text{и} \quad \varphi_{в} = 75\%.$$

Выбираем стены из керамзитобетонных панелей, толщиной 500 мм, с сопротивлением теплопередаче $1,86^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$., табл П4.

Сопротивление теплопередаче двойных окон:

$$R_{ок} = 0,345^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче ворот и дверей:

$$R_{\partial\epsilon} = 0,58 \text{ }^{\circ}\text{C} * \text{м}^2/\text{Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче через бетонный пол с деревянными щитами:

- шлаковая подготовка $\delta = 0,1 \text{ м}; \quad \lambda = 0,29 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C};$
- бетонное основание $\delta = 0,6 \text{ м}; \quad \lambda = 1,45 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C};$
- деревянные скаты $\delta = 0,037 \text{ м}; \quad \lambda = 0,17 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C};$
- ширина пола 20 м; длина 77 м.

Разделив площадь пола на двухметровые зоны, параллельные наружной стене, получим три зоны шириной по два метра и одну шириной 11 м. (рис 1.) Потери теплоты через внутренние торцовые стены пренебрегаем.

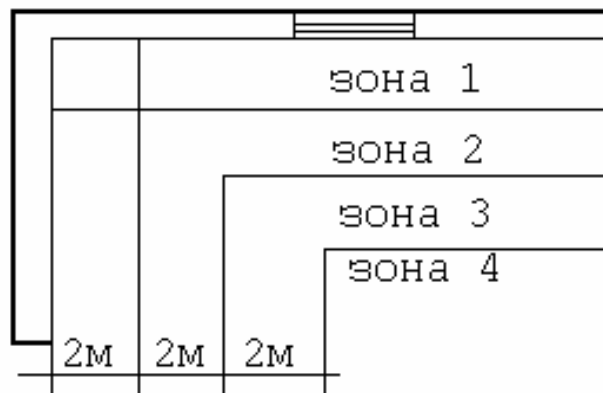


Рисунок 1 – Разбивка пола на зоны.

Сопротивление теплопередаче для каждой зоны определяем по формуле:

$$R_{\text{зона } i} = R_{\text{пл}} + \frac{\delta_{\text{щ}}}{\lambda_{\text{щ}}}.$$

Подставив числовые значения, получим:

$$\text{- для зоны } IR_{\text{зона}} = 2,15 + \frac{0,1}{0,29} + \frac{0,6}{1,45} + \frac{0,037}{0,17} = 3,1^{\circ}\text{C} * \text{м}^2/\text{Вт};$$

$$\text{- для зоны } IIR_{\text{зона}} = 4,3 + \frac{0,1}{0,29} + \frac{0,6}{1,45} + \frac{0,037}{0,17} = 5,28^{\circ}\text{C} * \text{м}^2/\text{Вт};$$

$$\text{- для зоны } IIIR_{\text{зона}} = 8.6 + 0.983 = 9.58^{\circ}\text{C} * \text{м}^2/\text{Вт}.$$

Теплопотери через ограждения составят:

$$R_{\text{огр}} = \left(\frac{412}{1,86} + \frac{1540}{2,5} + \frac{372}{3,1} + \frac{340}{5,28} + \frac{528}{9,58} + \frac{59}{0,345} + \frac{28}{0,58} + \frac{30}{0,58} \right) *$$

$$* [10 - (-30)] * 10^{-3} = 54.0 \text{ кВт}.$$

3.3 Расчет теплотерь на испарение со смоченных поверхностей

$$Q_{исп} = 0,69(\omega_{исп}^{см} * F_{см} + \omega_{исп}^{кон} * F_{кон}) * 10^{-3}$$

где $\omega_{исп}^{см} = 11$ г/ч*м² – интенсивность испарения при $t_{в} = +10^{\circ}\text{C}$ и $\varphi_{в} = 75\%$;

$F_{см} = 400$ м² – площадь смоченных поверхностей.

$F_{кон} = 520$ м² – площадь открытых поверхностей навозных каналов.

Тогда $Q_{исп} = 0,69 * 11 * (520 + 400) * 10^{-3} = 7,0$ кВт.

3.4 Расчет теплотерь на подогрев приточного воздуха

Тепло на подогрев приточного воздуха определяем по выражению:

$$Q_{ув} = 0,278 * 10^{-3} * G_{в} * (t_{в} - t_{н})$$

Расчет проводим для двух случаев:

- по предельной концентрации углекислого газа;

- по предельной концентрации паров воды.

Расчет по предельной концентрации углекислого газа.

Часовой объем приточного воздуха (м³/ч.), необходимый для понижения концентрации углекислоты, вычисляют по формуле:

$$Q_{CO_2} = \frac{c * n}{(c1 - c2)},$$

где c - количество CO₂, выделяемое одним животным, табл. П1, л/ч.;

n - число животных в помещении;

$c1$ - предельно допустимая концентрация CO₂ в воздухе помещения, л/м³;

$c2$ - концентрация CO₂ в наружном воздухе, л/м³.

$c = 142$ л / ч., $c1 = 2,5$ л / м³, для сельской местности $C_2 = 0.3 \dots 0.4$ л/м³ принимаем $c2 = 0,3$ л/м³, $n = 200$ гол

Подставляя эти значения, получим 12900 м³/ч.

Расчет по предельной концентрации паров воды.

Расчет требуемого воздухообмена по предельной концентрации водяных паров

$$G_{в} = \frac{\omega_{жс} + \omega_{исп}}{\varphi_{в} d_{в} - d_{н}}, \text{ кг/ч} - \text{ количество приточного воздуха};$$

$$\omega_{исп} = \omega_{исп}^{см} * F_{см}$$

$\omega_{исп} = 11 * (520 + 400) = 10120$ г/ч – количество влаги испаряемой со открытых поверхностей;

$$\omega_{жс} = n * \omega_{жс}^o * k_t$$

$\omega_{жс} = 200 * 550 * 1.00 = 110000$ г/ч – влаговыделения животных;

$d_{в} = 9,4$ г/кг – влагосодержание внутреннего воздуха при $t_{в} = +10^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{в} = 75\%$;

Влагосодержание наружного воздуха при расчетной температуре для систем вентиляции $t_{в}$ определяем по $I-d$ диаграмме, рис П.1 или по корреляционной зависимости. Влагосодержание наружного воздуха для областей Западной Сибири в диапазоне температуры $-4 \dots -50^{\circ}\text{C}$, соответствующему отопительному периоду

для молочнотоварных ферм зоны, может быть определено по следующей формуле:

$$d_n^l = 0,00413 * t_{нi}^2 + 0.27575 * t_{нi} + 4.8439, \text{мБ}$$

В инженерных расчетах абсолютную влажность воздуха выражают в г/м², следовательно, формула примет вид:

$$d_n = \frac{220}{t_{нi} + 273} * [4.13 * 10^{-3} * t_{нi}^2 + 0.27575 * t_{нi} + 4.8439], \text{г/м}^2$$

$$\text{Тогда } G_B = \frac{110000 + 10120}{0.75 * 9.4 - 0.26} = 17690 \text{ кг/ч.}$$

.....
Проверка расчета подачи воздуха.

Проверяют по кратности воздухообмена:

$$K = \frac{Q}{V_{п}},$$

где Q - расчетный воздухообмен, м³/ч.;

V_п - объем помещения, м³.

$$V_n = 78 * 21 * 3.8 = 6224 \text{ м}^3.$$

$$Q = 14097 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

$$K = 17690 / 6224 = 2.84$$

что соответствует нормам для животноводческих помещений в холодный период года (K = 2.5 - 5) для условий Западной Сибири. Следовательно, расчет произведен верно.

Мощность, необходимая на подогрев приточного воздуха:

$$Q_{ув} = 0,278 * 10^{-3} * 17690 * (10 - (-30)) = 197 \text{ кВт.}$$

Определяем дефицит тепла:

$$Q_{\delta} = 197 + 47 + 7 - 169 = 82 \text{ кВт.}$$

Расчет величины инфильтрующегося воздуха.

Количество воздуха, инфильтрующегося в животноводческое помещение через неплотности окон, ворот, дверей определяем как:

$$G_{инф} = \sum G_{щ} * l * \alpha.$$

α - эмпирический коэффициент

Принимаем:

$\alpha = 0,5$ - для окон с деревянными двойными переплетами;

$\alpha = 2$ - для ворот.

Определяем длину щелей притворов:

- периметр окон составляет:

$$11 = (1,3 + 1,0 + 1,3 + 1,0) * 45 = 207 \text{ м.}$$

- периметр дверей составляет:

$$12 = (1220 + 2080 + 1220 + 2080) * 1 = 79,2 \text{ м.}$$

- периметр ворот составляет:

$$13 = (2600 + 2700 + 2600 + 2700 + 2700) * 4 = 53,2 \text{ м.}$$

Количество воздуха, инфильтрующегося через притворы при скорости ветра 3 м/с, при этом $G_{щ} = 11,2$ кг/ч*м:

- через окна $G_{инф.1} = 0,5 * 11,2 * 207 = 1159$ кг/ч;

- через двери $G_{инф.2} = 2 * 11,2 * 79,2 = 1774$ кг/ч;

- через ворота $G_{инф.3} = 2 * 11,2 * 53,2 = 1192$ кг/ч.

Общее количество инфильтрующегося воздуха:

$$G_{инф} = 1159 + 1774 + 1192 = 4125 \text{ кг/ч.}$$

3.5. Определение мощности калориферов для подогрева подаваемого воздуха

Количество воздуха, которое должно подаваться в помещение приточной вентиляцией:

$$G_{прв} = G_{в} - G_{инф} = 17690 - 4125 = 13565 \text{ кг/ч.}$$

Таким образом, исходными данными для выбора отопительно-вентиляционного оборудования являются мощность калориферов $Q_y = 89$ кВт и расход воздуха $G_{прв} = 13565$ кг/ч.

Выбираем предварительно (табл. 5, принимая в расчет неучтенные потери тепловой энергии) два калорифера СФОЦ-60.0/05-И1 по 60 кВт

3.6 Расчет объемов потребления энергии системами обеспечения нормируемого температурно-влажностного режима помещений

Определяем граничную температуру наружного воздуха, при которой возникает необходимость в обогреве помещения:

$$t_{н.гр.} = t_{вп} - \frac{Q_{жс} - Q_{исп}}{0,278 * G_{в} + \sum \frac{F_i}{R_i}} * 10^3$$

Определяем среднюю наружную температуру отопительного периода:

$$t_{н.ср} = \frac{\sum t_n^i * \tau_{t_n}^i}{T(t_n)} = \frac{\sum (-47 * 0.262) + (-46 * 0.375) + (-45 * 0.531) + \dots}{1932} = -19,96 \text{ C}$$

где - $\tau(t_n)$ время стояния температуры наружного t_n воздуха в часах.

Распределение времени стояния температуры наружного воздуха принимается в соответствии с графиком рис.2 или табл.2 (Омск).

Для других районов Западной Сибири можно использовать зависимость распределения длительности стояния температур наружного воздуха в отопительный период от температуры наружного воздуха для соответствующего региона (параметры – математическое ожидание и дисперсия распределений - по табл.3).

Таблица 2 - Распределение времени стояния температуры наружного t_n воздуха $\tau(t_n)$ в часах (температура воздуха/длительность стояния, Омск)

t_n	-47	-46	-45	-44	-43	-42	-41	-40	-39	-38
$\tau(t_n)$	0,26	0,3756	0,5316	0,7448	1,0331	1,4184	1,9278	2,5939	3,4549	4,5554
t_n	-37	-36	-35	-34	-33	-32	-31	-30	-29	-28
$\tau(t_n)$	5,94	7,6827	9,8268	12,442	15,596	19,352	23,771	28,905	34,793	41,460
t_n	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18
$\tau(t_n)$	48,90	57,109	66,016	75,544	85,576	95,964	106,53	117,06	127,35	137,14
t_n	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9
$\tau(t_n)$	137,14	146,20	154,29	161,19	166,69	170,65	172,95	173,51	172,32	169,42
t_n	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
$\tau(t_n)$	169,42	164,88	158,8	151,50	143,04	133,69	123,69	113,29	102,71	92,194
t_n	0	1	2	3	4					
$\tau(t_n)$	92,194	81,915	72,049	62,733	54,072					

Продолжительность стояния температуры для региона Западной Сибири (ΔZ_{t_n}) наружного воздуха может быть с достаточной точностью описана нормальным распределением (для периода времени с октября по март).

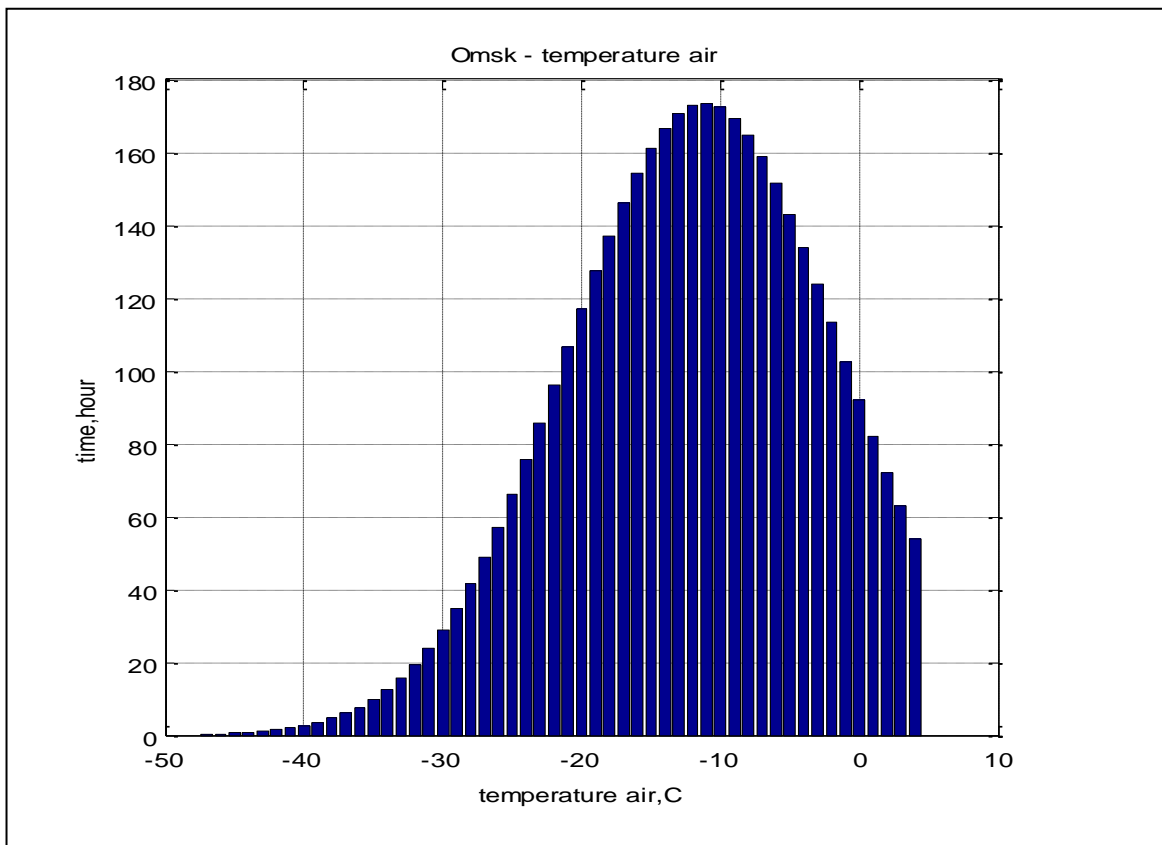


Рисунок 2 – Распределение длительности стояния температуры наружного воздуха для Омской области

Формула для определения длительности стояния (час) температуры t_{ni} имеет следующий вид:

$$\Delta Z_{t_n} = \frac{4324}{\delta_{t_n} \sqrt{2\pi}} * \exp \left[\frac{(t_{ni} - t_n^{cp})^2}{2(\delta_{t_n} * \delta_{t_n})} \right], \quad (1)$$

где t_n^{cp} - среднее значение температуры за период с октября по март, (табл. 3).
 При расчете задается диапазон температур наружного воздуха $t_{н.зр.}$ -5 до t_n с шагом 1.

σ_{t_n} - среднеквадратичное отклонение параметра, (табл.3).

Пример распределения длительности стояния температуры наружного воздуха приведен на рис.1. В данном случае (Омск) длительность отопительного периода для животноводческого помещения - $T(t_n) = 1932$ ч.

Таблица 3 - Параметры распределения температуры наружного воздуха по длительности стояния для регионов Сибири

Метеостанция	Мат. ожидание, t_n^{cp}	Среднеквадратичное отклонение, σ_{t_n}
г. Омск	-11,18	9,94
г. Барнаул	-12,09	10,18
г. Томск	-12,08	10,06
г. Кемерово	-11,76	9,41
г. Назарово	-14,73	9,33
г. Абакан	-11,81	11,28
г. Иркутск	-12,03	10,03

Годовой расход тепловой энергии на создание искусственного микроклимата:

$$A = Q_{cp} * T(t_n)$$

где Q_{cp} – тепловая нагрузка при средней наружной температуре ($t_{н.ср.}$);

$T(t_n) = 1932$ ч – среднестатистическая продолжительность отопительного периода в году с наружной температурой от $-13,8^{\circ}\text{C}$ до -30°C (Омск),

где Q_{cp} – тепловая нагрузка при средней наружной температуре ($t_{н.ср.}$);

$$Q_{cp} = \left(\sum \frac{F_i}{R_i} + 0.278 * G \right) * (t_s - t_{н.ср.}) * 10^{-3} + Q_n - Q_{ж} =$$

$$= (1350 + 0,278 * 19086) * [10 - (-19,96)] * 10^{-3} + 4,3 - 162 = 44,4 \text{ кВт.}$$

Следовательно, годовой расход тепловой энергии на подогрев воздуха составит:

$$Эт = 44.4 * 1932 = 85781 \text{ кВт} * \text{ч.}$$

Установленная мощность электродвигателей на привод приточных и вытяжных вентиляторов составит: 2 установки по 2.2. кВт, расход энергии на привод вентиляторов составит

$$Эп = 2 * 2.2 * 1932 = 8500, \text{ кВт} * \text{ч.}$$

Суммарное потребление электроэнергии вентиляционно-отопительными установками будет $\Sigma = \Sigma_t + \Sigma_p = 85781 + 8500 = 94281, \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

3.7 Расчет параметров температурно-влажностного режима вспомогательных помещений

Тепловую нагрузку на отопление молочного блока рассчитываем по выше описанной методике, подставляя в формулы размеры и параметры, соответствующие помещению молочного блока.

$F_{cm} = (24 * 2,7) * 2 - (1,3 * 1,0) * 15 = 110,1 \text{ м}^2$ - площадь наружных стен с учетом площади окон;

$R_{cm} = 1,86 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$ – сопротивление теплопередаче стены;

$F_n = 12 * 24 = 288 \text{ м}^2$ – площадь потолка;

$R_n = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$ - сопротивление теплопередаче перекрытия;

$F_1 = 132 \text{ м}^2, F_2 = 64 \text{ м}^2, F_3 = 96 \text{ м}^2$ - площади участков пола, после разделения на двухметровые зоны;

$R_{зон1} = 2,58, R_{зон2} = 4,73, R_{зон3} = 9,03 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$ – сопротивление теплопередаче двухметровых зон пола;

$R_{ок} = 0,345 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$ – сопротивление теплопередаче двойных окон;

$t_g = 15 \text{ } ^\circ\text{C}, \varphi_g = 85 \%, d_g = 9 \text{ г/кг}$ - температура, влажность и влагосодержание внутреннего воздуха;

$t_n = -30 \text{ } ^\circ\text{C}, \varphi_n = 85 \%, d_n = 0,2 \text{ г/кг}$ - температура, влажность и влагосодержание наружного воздуха;

Тогда, потери тепла через ограждающие конструкции молочного блока будут равны:

$$Q_{огр} = \left(\frac{F_{cm}}{R_{cm}} + \frac{F_n}{R_n} + \frac{F_{зон1}}{R_{зон1}} + \frac{F_{зон2}}{R_{зон2}} + \frac{F_{зон3}}{R_{зон3}} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} \right) * K_t * (t_g - t_n) = \left(\frac{110,1}{1,86} + \frac{288}{2,5} + \frac{132}{2,58} + \frac{64}{4,73} + \frac{96}{9,03} + \frac{19,5}{0,345} \right) * 1,2 * [15 - (-30)] = 16,53 \text{ кВт}.$$

Определяем необходимый воздухообмен молочного блока:

$$G_g = \frac{W_{cm}}{\varphi d_g - d_n}.$$

Количество влаги, испаряющейся со смоченных поверхностей двух моечных:

$$W_{см} = 2(F_{см} * W_{исп}^{см}),$$

где $F_{см} = 2 * (6 * 3) = 36 \text{ м}^2$ - площадь смоченной поверхности двух моечных;

$W_{исп}^{см} = 75 \text{ г/ч} * \text{м}^2$ - удельные влагопоступления.

$$\text{Тогда, } G_{г} = \frac{36 * 75}{9 - 0,2} = 306 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определяем мощность нагревателя для подогрева приточного воздуха:

$$Q_{нг} = c * G_{г} * (t_{г} - t_{н}) * 10^{-3} = 0,278 * 306 * [15 - (-30)] * 10^{-3} = 3,83 \text{ кВт}.$$

Определяем мощность системы обеспечения искусственного микроклимата молочного блока:

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{нг} = 16,53 + 3,83 = 20,36 \text{ кВт}.$$

Для систем отопления помещений без значительных внутренних тепловыделений продолжительность и средняя температура отопительного периода определяется по СНиП II-A.6-72. Для Омской области продолжительность отопительного периода для вспомогательных помещений - *220 дней по 24 ч.*

$T_{от} = 5280 \text{ ч}$, средняя температура $t_{н.ср} = -7,7^{\circ}\text{C}$. (СНиП по климатологии)

Определяем тепловую нагрузку при средней наружной температуре:

$$Q_{от.ср} = \left(\sum \frac{F_i}{R_i} * K_i + c * G_{г} \right) * (t_{г} - t_{н.ср}) * 10^{-3} = 12,2 \text{ кВт}.$$

Годовой расход энергии на обогрев и вентиляцию молочного блока составит

$$\text{Эм} = 12,2 * 5280 = 64160 \text{ кВт} * \text{ч}.$$

Расход на горячее водоснабжение (ГВС) определяем исходя из норм потребления по упрощенной методики. В помещении установлен водонагреватель-термос ВЭТ-400 с установленной мощностью 10.5кВт. Суточное потребления горячей воды принято в размере 800 литров.. Суточный расход на ГВС составит 165 кВт-ч, годовой 35000 кВт-ч.

Суммарное потребление энергии на для обеспечения нормируемого температурно-влажностного режима основного, вспомогательного блока и гвс (без учета электроприводу вентиляционных установок составит)

$$\text{Агод} = 85781 + 64160 + 35000 = 184941 \text{ кВт-час}$$

3.8 Энергосберегающие режимы вентиляционно-отопительных систем животноводческих помещений

Как показывают расчеты, примерно 70-75% тепла, использованного для создания нормируемого микроклимата в животноводческих помещениях, удаляется вместе с отработанным вентиляционным воздухом. Внедрение энергосберегаю-

щих систем отопления и вентиляции на основе утилизаторов теплоты вентиляционных выбросов ферм позволит существенно снизить затраты на энергоноситель.

Наибольшее распространение в 60-е годы получил пластинчатый металлический теплообменник типа ТСН, который был разработан Белорусским институтом строительства и архитектуры и доведен до серийного выпуска. Однако широкого внедрения не получил и этот теплообменник, поскольку при существовавших тарифах на тепловую и электрическую энергию монтаж и эксплуатация вентиляции с теплообменниками были экономически невыгодны или давали минимальный экономический эффект. Кроме этого, металлические теплообменники, контактируя с агрессивной средой помещения, очень быстро выходили из строя. Воздушные каналы засорялись продуктами коррозии уже после первого года эксплуатации.

Процесс утилизации тепловой энергии из вентиляционных выбросов с помощью простейших теплообменников возможен при охлаждении удаляемого потока воздуха лишь до нуля градусов. В коровниках для содержания дойного стада перепад температур на входе и выходе теплообменника составит всего 10 °С, в то время, как приточный поток воздуха приходится иногда нагревать на 50 °С. Параметры наружного и внутреннего воздуха непрерывно изменяются. Поэтому для поддержания максимальной теплопередачи от удаляемого воздуха к приточному процесс необходимо автоматизировать, что при современном уровне развития техники сделать несложно, но требуются определенные затраты.

Вторым, и, на наш взгляд, более перспективным, направлением снижения затрат энергии при обеспечении микроклимата животноводческих помещений является использование устройств, позволяющих осушать внутренний воздух и соответственно уменьшать расход приточного воздуха. Принцип работы ее заключается в подаче с помощью вентилятора холодного наружного воздуха в полости между потолком и специально изготовленной складчатой перегородкой из полиэтиленовой пленки. На охлажденной поверхности складчатой перегородки конденсировалась влага, а приточный воздух нагревался за счет теплообмена с внутренним воздухом и теплоты фазового перехода при конденсации паров влаги. Конструктивные решения элементов системы вентиляции позволяют изготавливать все устройства собственными силами и из подручных материалов. Это существенно снижает капитальные затраты, однако повышает трудозатраты при монтаже и усложняет ремонт и замену отдельных элементов в процессе эксплуатации. Использование в конструкции поверхности тепло-массообмена с множеством углов и складок снижает эффективность процесса осушения воздуха из-за образования застойных зон в каналах для подачи приточного воздуха. Поэтому участки поверхности, которые интенсивно охлаждаются потоком наружного воздуха, могут покрыться льдом, а в застойных зонах конденсация может вообще отсутствовать.

Дальнейшее развитие идея осушения внутреннего воздуха животноводческих помещений путем конденсации паров влаги на охлажденной поверхности получила в работах Сибирского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства (СибИМЭ). В конструкции системы обеспечения микроклимата на базе теплообменника-осушителя (СОМБТО) использова-

лись элементы, серийно выпускаемые промышленными предприятиями. В качестве поверхности для конденсации паров влаги применялись цилиндрические полимерные воздухопроводы, подвешенные с помощью троса и колец под потолком вдоль помещения. Это позволило ликвидировать застойные зоны и повысить технологичность эксплуатации элементов системы. Была разработана методика расчета СОМБТО, с помощью которой для любого животноводческого помещения можно определить параметры и режимы работы технологического оборудования.

Теоретические и экспериментальные исследования осушителя с цилиндрическими каналами показали, что эффективность его работы снижается по ходу движения приточного воздуха. В начале канала за счет правильно заданных диаметра воздухопровода и величины расхода приточного воздуха температура поверхности осушителя поддерживается равной нулю градусов. Далее вследствие теплообмена поток приточного воздуха нагревается, а параметры внутренней среды остаются практически постоянными по всей длине помещения, поэтому температура поверхности осушителя повышается. В соответствии с этим снижется интенсивность конденсации.

Для предотвращения подобной тенденции разработано, испытано устройство теплообменника-осушителя с конусными каналами. Действие устройства заключается в том, что снижение теплосъема потоком приточного воздуха с внутренней поверхности канала осушителя вследствие повышения температуры этого потока компенсируется увеличением его скорости из-за уменьшения сечения канала.

Изменение конструкции СОМБТО повлекло за собой изменение методики расчета. Для определения оптимальных параметров и режимов работы теплообменника-осушителя необходимо выполнить следующие действия.

1. Учитывая конструктивные особенности помещения, задаем начальные значения количества осушающих воздухопроводов m , их входной диаметр d и длину L . По проектной документации или с помощью детального обследования помещения определяем теплотехнические характеристики ограждающих конструкций: это среднее термическое сопротивление R_0 и площадь внутренней поверхности ограждающих конструкций F . В соответствии с нормами технологического проектирования задаем нормативные значения температуры $t_{в}$ и влажности $f_{в}$ внутреннего воздуха и $t_{н}$, $f_{н}$ наружного воздуха. По справочникам и известным зависимостям определяем выделения углекислого газа K_{CO_2} , тепловыделения $Q_{ж}$ и влаговыделения $W_{ж}$ животных, теплотери на испарение влаги со смоченных поверхностей $Q_{исп}$. В соответствии с условием нормализации воздушной среды по углекислоте определяем минимальный объем вентиляции L_{CO_2} .

2. Определяем конвективный тепловой поток от внутреннего воздуха помещения $Q_{кв}$ на 1 м^2 поверхности осушителя при условии, что температура поверхности t_{oc} равна $0 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_{кв} = 0,132 (t_{в} - t_{oc}) * \lambda_{в} * (g * \beta (t_{в} - t_{oc}) / v^2)^{0,33}, \text{ Вт}$$

где $\lambda_{в}$ – теплопроводность воздуха, Вт/м* $^\circ\text{C}$;

g – ускорение свободного падения, м/с 2 ;

β – коэффициент объемного расширения;

v – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м 2 /с.

3. По эмпирическому выражению рассчитываем интенсивность конденсации паров влаги из внутреннего воздуха $Y_{кнд}$. Значения температуры и влажности внутреннего воздуха равны нормативным, а температура поверхности осушителя t_{oc} равна $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$Y_{кнд} = 2,2 \cdot 10^{-6} ((t_{в} + t_{oc})/2 + 273)^{0,42} * ((t_{в} - t_{oc})/v^2)^{0,33} * (100(f_{в} * E^{h_{тв}} - E^{h_{toc}})/P)^{1,4}, \text{ кг/ч} \cdot \text{м}^2$$

где $E^{h_{тв}}$, $E^{h_{toc}}$ – упругость насыщенного пара при температурах $t_{в}$ и t_{oc} , мм. рт. ст.;

P – атмосферное давление, мм. рт. ст.

4. Определяем суммарный тепловой поток Q_{Σ} от внутренней среды на 1 м^2 поверхности осушителя:

$$Q_{\Sigma} = Q_{кв} + r * Y_{кнд}, \text{ Вт}$$

где r – теплота фазового перехода, Вт/кг.

5. Рассчитываем конечный диаметр каналов осушителя $d_{к}$, площадь поверхности осушителя S_{oc} и суммарное количество конденсата $W_{кнд}$:

$$d_{к} = d - 0,5 * L/100, \text{ м}$$

$$S_{oc} = m * L * \pi(d + d_{к})/2, \text{ м}^2;$$

$$W_{кнд} = S_{oc} * Y_{кнд}, \text{ кг/ч}$$

6. Определяем температуру базового режима работы теплообменника-осушителя $t_{б}$ – это значение температуры наружного воздуха, до которого микроклимат в помещении обеспечивается за счет внутренних тепловыделений, а на поверхности осушителя обеспечивается режим получения максимальной интенсивности конденсации. При наружной температуре ниже $t_{б}$ в работу включается нагреватель – доводчик, который подогревает поток приточного воздуха до температуры, равной $t_{б}$, и компенсирует дополнительные потери тепла через ограждающие конструкции. Если значение температуры наружного воздуха выше $t_{б}$, то оптимальный режим работы осушителя поддерживается за счет регулирования расхода приточного воздуха.

$$t_{б} = t_{в} - (Q_{ж} + r * Y_{кнд} - Q_{исп}) / (c * \gamma * L_{CO2} + F/R_0), \text{ }^{\circ}\text{C}$$

где c – теплоемкость воздуха, Вт/кг;

γ – плотность воздуха, кг/м³.

7. Уточняем величину входного диаметра канала осушителя:

$$d_{н} = ((0,018 * \lambda_{в}(t_{oc} - t_{б}) / Q_{\Sigma}) * (4 * L_{CO2} / m * \pi * v * 3600)^{0,8})^{0,55}, \text{ м}$$

Если значение входного диаметра $d_{н}$ больше или меньше стартового значения d , то с помощью управляющей структуры организуются циклы по оптимизации входного диаметра осушающих воздухопроводов. В случае, когда диаметр кана-

лов осушителя получается таким, что размеры воздуховодов затрудняют выполнение технологических операций, изменяется значение количества каналов осушителя и расчет повторяется, начиная с пункта 5.

8. Рассчитываем мощность нагревателя-доводчика:

$$Q_{дв} = (t_b - t_n) * F/R_o + c * \gamma * L_{CO_2} * (t_b - t_n), \text{ Вт.}$$

Мощность нагревателя доводчика делится на две составляющие. Это мощность, необходимая для компенсации возросших теплопотерь через ограждения при значениях температуры наружного воздуха ниже базовой, и мощность для подогрева потока приточного воздуха до значения базовой температуры.

9. Определяем объем приточного воздуха, необходимый для работы осушителя в оптимальном режиме при значении температуры наружного воздуха выше базовой:

$$L_{пр} = m((Q_{\Sigma} * d_n * (d_n * \gamma * \pi * v * 0,09)^{0,8} / 0,018 * \lambda_v(t_{oc} - t_{пр}))^{1,25} / \gamma, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Задав шаг повышения температуры приточного воздуха, равным 1°C, получаем регулировочную характеристику изменения объема приточного воздуха при значениях наружной температуры выше базовой.

Представленная математическая модель функционирования системы микроклимата на базе теплообменника-осушителя с конденсационными каналами конусной формы реализована в виде готового программного продукта. Блок-схема имитационной модели показана на рисунке.

При проведении экспериментальных исследований на имитационной модели, входные параметры изменялись в следующих пределах:

- поголовье животных **N** от 25 до 200 голов;
- среднее термическое сопротивление ограждающих конструкций от 1 до 2,5 м² * °C/Вт;
- расчетная температура наружного воздуха от -20 до -40 °C.

Полученные в результате эксперимента параметры конструктивных элементов СОМБТО и данные, позволяющие оптимизировать режимы работы оборудования системы, представлены в табл.4.

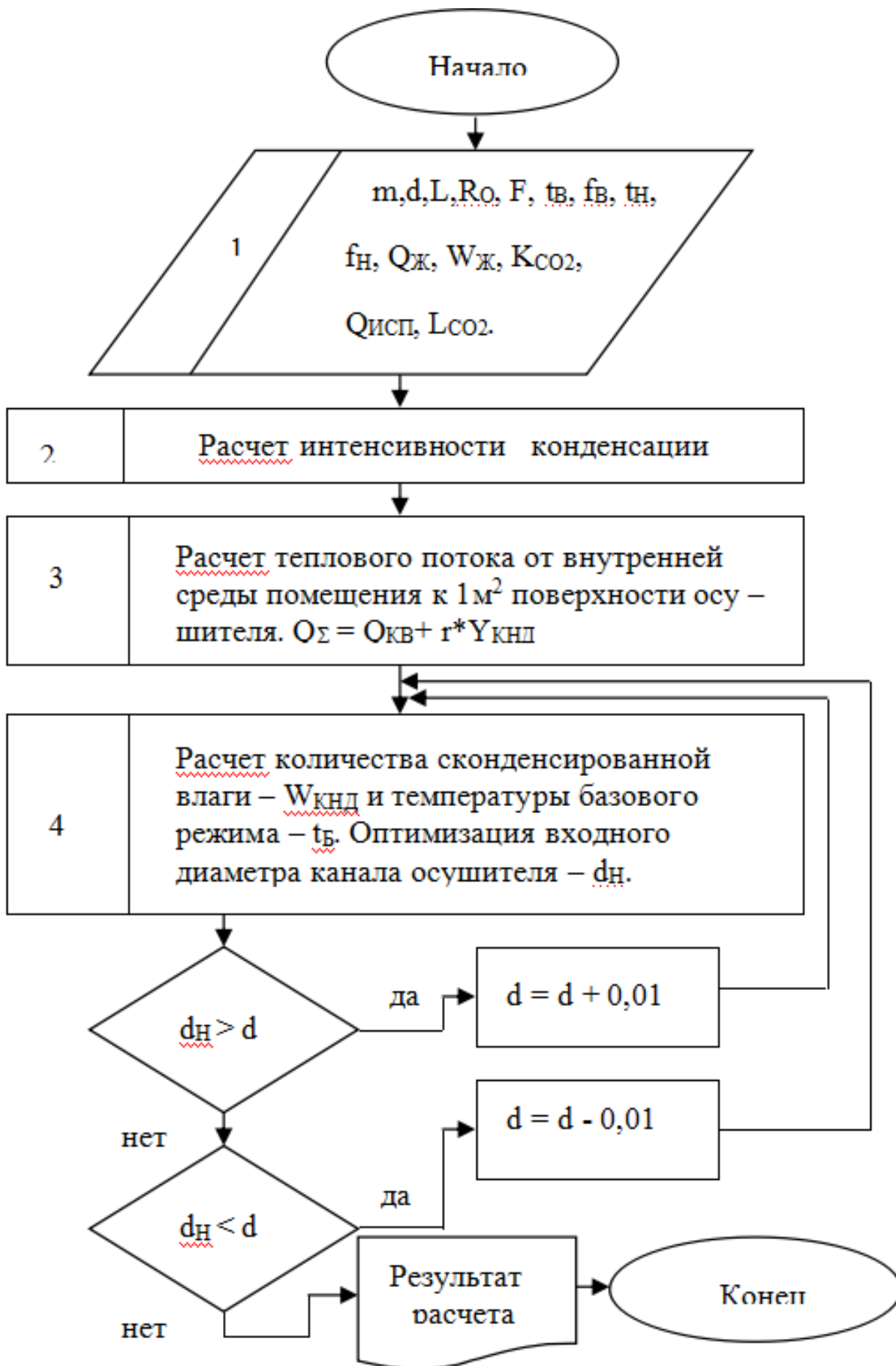


Рисунок 3- Алгоритм расчета параметров СОМБТО

Таблица 4 - Результаты экспериментальных исследований СОМБТО

Расчетная температура наружного воздуха $t_H = - 40 \text{ }^\circ\text{C}$										
N, гол	$R_0 = 1 \text{ м}^2\text{ }^\circ\text{C/Вт}$					$R_0 = 1,5 \text{ м}^2\text{ }^\circ\text{C/Вт}$				
	m	$d_H,$ м.	$W_{\text{КНД}},$ кг.	$t_b,$ $^\circ\text{C}.$	$Q_{\text{ДВ}},$ кВт.	m	$d_H,$ м.	$W_{\text{КНД}},$ кг.	$t_b,$ $^\circ\text{C}.$	$Q_{\text{ДВ}},$ кВт.
25	2	0,31	0,8	-7,7	21,4	2	0,39	1,1	-11,5	15,8
50	4	0,34	1,6	-9	39,3	4	0,42	2,0	-12,8	29,1
100	4	0,49	4,2	-9,7	75,2	4	0,58	5,2	-13,6	55,7
100	6	0,43	3,9	-11	67,4	6	0,50	3,9	-14,4	51,7
200	6	0,6	8,1	-11,5	129	6	0,70	9,9	-15,2	97,3
Расчетная температура наружного воздуха $t_H = - 20 \text{ }^\circ\text{C}$										
$R_0 = 1 \text{ м}^2\text{ }^\circ\text{C/Вт}$						$R_0 = 1,5 \text{ м}^2\text{ }^\circ\text{C/Вт}$				
25	2	0,31	0,8	-7,7	8,1	2	0,39	1,1	-11,5	4,7
50	4	0,34	1,6	-9,0	13,9	4	0,42	2,0	-12,8	7,5
100	4	0,49	4,2	-9,7	25,5	4	0,58	5,2	-13,6	13,5
100	6	0,43	3,9	-11,0	20,9	6	0,50	3,9	-14,4	11,9
200	6	0,60	8,1	-11,5	38,3	6	0,70	9,9	-15,2	18,7
Расчетная температура наружного воздуха $t_H = - 40 \text{ }^\circ\text{C}$										
$R_0 = 2 \text{ м}^2\text{ }^\circ\text{C/Вт}$						$R_0 = 2,5 \text{ м}^2\text{ }^\circ\text{C/Вт}$				
25	2	0,44	1,2	-14,0	13,0	2	0,47	1,3	-15,8	11,3
50	4	0,46	2,3	-15,3	24,0	4	0,49	2,6	-17,1	20,9
100	4	0,64	5,8	-16,0	45,8	4	0,68	6,3	-18,0	40,0
100	6	0,54	4,2	-16,7	42,9	6	0,57	4,5	-18,7	37,8
200	6	0,76	10,8	-17,5	81,4	6	0,80	11,5	-19,1	72,0
Расчетная температура наружного воздуха $t_H = - 30 \text{ }^\circ\text{C}$										
$R_0 = 2 \text{ м}^2\text{ }^\circ\text{C/Вт}$						$R_0 = 2,5 \text{ м}^2\text{ }^\circ\text{C/Вт}$				
25	2	0,44	1,2	-14,0	2,0	2	0,47	1,3	-15,8	2,0
50	4	0,46	2,3	-15,3	2,6	4	0,49	2,6	-17,1	2,6
100	4	0,64	5,8	-16,0	3,6	4	0,68	6,3	-18,0	3,6
100	6	0,54	4,2	-16,7	3,0	6	0,57	4,5	-18,7	3,0
200	6	0,76	10,8	-17,5	2,9	6	0,80	11,5	-19,1	2,9

Анализируя данные вычислительного эксперимента на имитационной модели, можно сделать следующие выводы:

Работа СОМБТО в оптимальном режиме позволит обеспечить нормируемый микроклимат в животноводческом помещении за счет внутренних выделений тепла даже при понижении температуры наружного воздуха до $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Эффективность работы системы возрастает в помещениях с большим поголовьем животных:

– в больших помещениях есть возможность разместить осушитель с большей рабочей поверхностью;

– с увеличением поголовья удельные внутренние тепловыделения в расчете на единицу объема увеличиваются, а удельные теплопотери через ограждающие конструкции уменьшаются.

Результаты экспериментальных исследований СОМБТО в производственных условиях показали снижение максимальной установленной мощности систем подогрева помещений в 1.5 раза, годового потребления энергии на обеспечение нормируемого температурно-влажностного режима помещений в 2 раза по сравнению с типовым технологическим решением.

Программа для расчета параметров СОМБТО

```
function teplo_poteri()
//*****
Ro = 1.5 % м**2 * C/Вт
F = 1123 % м**2
Tv = 10 % град
Tn = -30 % град
Q_ogr = (Tv-Tn)*F/Ro // Вт
delta_shag_dn = 0.01; // шаг изменения диаметра канала осушителя
//*****
// расчет тепло-влажновыделений животных
function teplo_wlaga()
Ng = 200 // голов
qg = 792 // Вт
wg = 455 // г/ч
Qg=qg * Ng * 0.6 // Вт
Wg=wg * Ng *0.6 // г/ч
// расчет влаговыведений со смоченных поверхностей
wotkr = 65 // г/ч*м**2
fotkr = 3.95 // м**2
wcm = 13 // г/ч*м**2
fcm = 279 // м**2
Wisp=wotkr * fotkr + wcm * fcm // г/ч
// суммарные влаговыведения помещения
Wprom = Wg + Wisp // г/ч
// теплопотери на испарение влаги со смоченных поверхностей
r = 0.695 // Вт/г
Qisp = r * Wisp // Вт
// минимальный объем приточной вентиляции рассчитанный по углекислоте
CO2g = 142 // л/ч*гол
```



```

C1 = 2.5 // л/м**3
C2 = 0.3 // л/м**3
Lco2 = CO2g * Ng * 0.6 / (C1 - C2) // м**3/ч
// конвективный тепловой поток от внутреннего воздуха на 1 м**2
// поверхности осушителя
toc = 0 // гр.С - температура пов-ти канала осушителя
Lv = 0.0251 // Вт/м*гр.С - теплопроводность воздуха при t=10 гр.С
g = 9.81 // м/с**2 - ускорение свободного падения
tv = 10 // гр.С - температура внутреннего воздуха
BETA = 0.0035 // коэффициент объемного расширения
Y = 13.72*10^-6 // коэффициент кинематической вязкости воздуха
Qkv = 0.132*Lv*(tv - toc)*(g*(tv - toc)*BETA/Y^2)^0.33333 % Вт
// расчет интенсивности конденсации
P = 745 // атмосферное давление мм.рт.ст.
fv = 0.75 // влажность внутреннего воздуха
en_tv = 9.21 // парциальное давление вод. паров насыщ. воздуха мм.рт.ст
en_toc = 4.6 // то-же при t=toc
I_n = 2.2*10^-6*((tv+toc)/2+273)^0.42*((tv-toc)/Y^2)^0.33
I_kond = I_n*1000*((fv*en_tv - en_toc)*100/P)^1.4 // г/ч*м**2
// суммарный тепловой поток на 1 м**2 пов-ти канала осушителя
Q_sum = Qkv + r*I_kond % Вт/м**2
// расчет количества конденсата со всей поверхности осушителя

dn_kn = 0.50 // начальный диаметр канала осушителя, м.
d_n = 1.00

while( d_n > dn_kn )
    dn_kn = dn_kn + delta_shag_dn;
    m_kn = 6 // количество каналов осушителя, шт.
    L_kn = 60 // длина канала осушителя, м.
    dk_kn = dn_kn - 0.5*L_kn/100 // конечный диаметр канала осушителя, м.
    S_kn = 3.14*L_kn*(dn_kn + dk_kn)/2 // площадь канала осушителя, м**2.
S_oc = S_kn * m_kn // площадь поверхности осушителя, м**2.
W_kond = S_oc * I_kond // суммарное количество конденсата г/ч
// расчет значения критической температуры наружного воздуха
Q_kond = W_kond * r // тепловой поток от конденсации паров влаги, Вт.
c = 0.28 // теплоемкость воздуха, Вт/кг
y_tv = 1.248 // плотность воздуха при tv = 10 гр.
G_co2 = Lco2 * y_tv // расход приточного воздуха по углекислоте, кг/ч
t_kr = tv - (Qg + Q_kond - Qisp)/(c*G_co2 + F/Ro)
y_tkr = 1.293 - 0.005*t_kr // плотность воздуха при t=t_kr
//требуемый расход приточного воздуха из условия нормализации влажности
g_tkr = 0.7 // влагосодержание наружного воздуха при tn = t_kr, г/кг
g_tv = 7.88*fv // влагосодержание внутреннего воздуха, г/кг
G_w = (Wrom - W_kond)/(g_tv - g_tkr) // кг/ч

```

$L_w = G_w / y_{tkr}$ // м³/ч объем приточной вентиляции по влажности
 // уточняем начальный диаметр канала осушителя по условию $t_{pot} = t_{kr}$
 $Lv_{tkr} = 0.0244 + 0.00008 * t_{kr}$ // теплопроводность воздуха при $t = t_{kr}$, гр
 $v_{tkr} = 0.1328 + 0.0008 * t_{kr}$ // коэфф. кинемат-кой вязкости м²/ч
 $G_{kn} = G_{co2} / m_{kn}$ // расход воздуха через один канал осушителя, кг/ч

$$SN = y_{tkr} * 3.14 * v_{tkr} * 0.36$$

$$DR = 4 * G_{kn} / SN$$

$$Re = DR^{0.8}$$

$$SL = 0.018 * Lv_{tkr} * (t_{oc} - t_{kr})$$

$$DR1 = SL / Q_{sum}$$

$$RS = Re * DR1$$

$$d_n = RS^{0.55}$$

end

$$Q_{dop} = (t_{kr} - T_n) * F / Ro + c * G_{co2} * (t_{kr} - T_n)$$

fid14 = fopen('teplo_poteri_rez.m','w');

string_tim=clock % время расчета

fprintf(fid14,'%f\n',string_tim)

string_1 = ('Программа для расчета теплопотерь чз огражд. конструкции')

fprintf(fid14,'%s\n',string_1)

fprintf(fid14,' d_n = %-8.3f Q_dop = %-5.2f t_kr = %-5.2f \n ',d_n,Q_dop, t_kr)

3.9 Подбор вентилятора и выбор мощности электродвигателя

Количество воздуха, которое должно подаваться в помещение приточной вентиляцией:

$$G_{прв} = G_{в} - G_{инф} = 17690 - 4125 = 13565 \text{ кг/ч.}$$

Принимаем к установки два калорифера типа СФО 60 расположенные в вентиляционных камерах по торцам помещений (стандартное типовое решение для коровника на 200 голов). Каждая электрифицированная вентиляционная установка работает на свой воздуховод. Диаметр воздуховода принимаем 500 мм.

Для отопления молочного блока устанавливаем один блок СФОЦ-16.

Находим расчетное полное давление, которое должен развивать вентилятор:

$$P_B = 1.1 \cdot \left(\sum (R \cdot l + Z) + P_{д.в.ых} + P_K \right),$$

где: 1.1- запас давления на непредвиденные сопротивления,

$\sum (R \cdot l + Z)$ - потери давления на трение в местных сопротивлениях в наиболее протяжен ветви вентиляционной сети, Па,

$Z = \Sigma \zeta \cdot P_d$ – потеря давления в местных сопротивлениях участка воздуховода, Па,

ζ - сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке,

$P_d = \frac{v^2 \cdot \rho}{2}$ - динамическое давление потока воздуха, Па,

v - скорость движения воздуха в трубопроводе, м/с,

ρ - плотность воздуха, $кг \cdot м^3$,

$P_{d,вых}$ - динамическое давление на выходе из сети, Па,

R_k - сопротивление калориферов, Па.

l - длина участка воздуховода, м.

По справочным данным определяем следующие показатели одной ветви вентиляционной сети (прямо количество воздуховодов – по одному на каждое ВОРУ):

- удельная потеря давления на трение: $R_1 = 3.5$ Па/м;

- динамическое давление потока воздуха: $P_{d1} = 56.8$ Па (при $\rho = 1,2$ кг/м³, табл. П5). Фактическая плотность приточного воздуха, температура которого 4 °С, $\rho = 1,245$ кг/м³. Поэтому

$$P_{d1} = 56.8 \cdot \frac{1,245}{1,2} = 58.9 \text{ Па}$$

Вычислим значение $R \cdot l$:

$$R_1 \cdot l_1 = 3.6 \cdot 60 = 216 \text{ Па}$$

Определим коэффициенты местных сопротивлений.

Участок 1: вход в жалюзийную решетку с поворотом потока - $\zeta = 2$;

диффузор у вентилятора - $\zeta = 0,15$;

отвод 90° круглого сечения ($R/d = 2$) - $\zeta = 0,15$;

внезапное сужение сечения ($\frac{F_2}{F_1} = 0,96$) - $\zeta = 0,1$;

$$\Sigma \zeta = 2,4$$

Определим потерю давления в местных сопротивлениях участка воздуховода по формуле:

$$Z = \Sigma \zeta \cdot P_d,$$

$$Z_1 = 2,4 \cdot 58.9 = 141, \text{ Па}$$

Определим суммарные потери давления $Rl+Z$ по участкам и для всей рассчитываемой ветви вентиляционной сети ($\Sigma(Rl+Z)$).

Расчетные данные заносим в таблицу 5.

Таблица 5 - Расчета системы вентиляции

№ участка	Q, м ³ /ч	l, м	v, м/с	d, мм	R, Па/м	R·l, Па	$\Sigma \zeta$	P_d , Па	Z, Па	R·l+Z, Па
1	6782	60	7.4	500	3.5	216	2,4	140	141	356
2	6782	60	7.4	500	3.5	216	2,4	140	141	356
									$\Sigma(R \cdot l + Z)$	712

Вычислим динамическое давление на выходе из сети для скорости $v = 6$ м/с.

$$P_{d,вых} = 6^2 \cdot \frac{1,22}{2} = 21,96 \text{ Па.}$$

Сопротивление калорифера СФО-60/05 $P_k=120$ Па,

Находим полное давление, которое должен развивать вентилятор:

$$P_B = 1.1 \cdot [712 + 21.96 + 120] = 854 \text{ Па.}$$

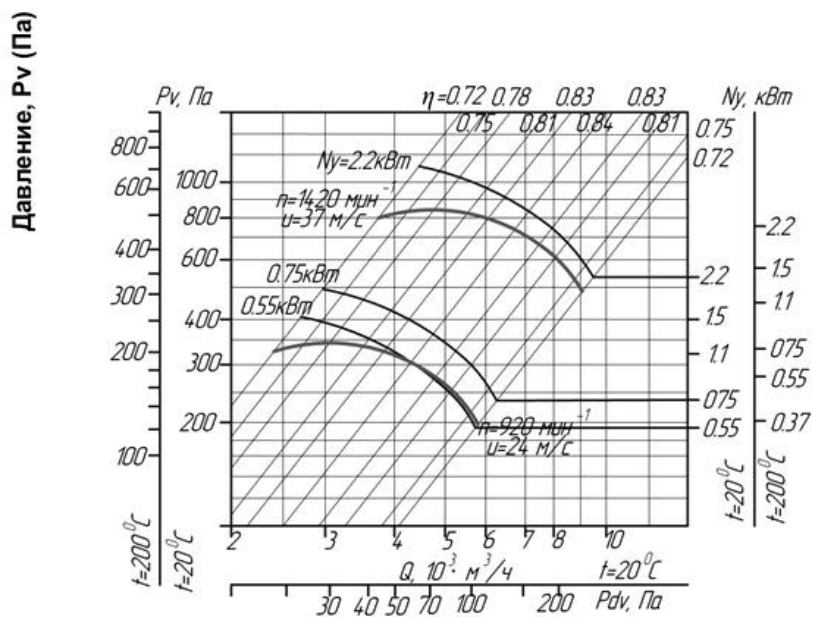
$Q_B=6780$ $P_B=854$ Па, $v=7.4$ м/с выбираем вентилятор марки Ц4-70 №6 ,
 $\eta_B=0.78$.

Мощность двигателя, кВт:

$$P_B = \frac{Q_B \cdot P_B}{3.6 \cdot 10^6 \cdot \eta_B \cdot \eta_n}$$

где: η_n - КПД передачи, для клиноременной передачи $\eta_n = 0.95$

$$P_B = \frac{6782 \cdot 854}{3.6 \cdot 10^6 \cdot 0.75 \cdot 0.95} = 2.2 \text{ кВт.}$$



ВЦ 4-75 №5
 (Исполнение 1)

Производительность, Q (м³/ч)

Рисунок 4 - Номограмма для определение параметров ВОУ

Таблица 6-Параметры электрокалориферных установок СФОЦ. Технические характеристики моделей базовой комплектации

Модель теплонагревателя	СФОЦ-16	СФОЦ-25	СФОЦ-40	СФОЦ-60	СФОЦ-100	СФОЦ-160	СФОЦ-250
Установленная мощность, кВт	15	22.5	45	67.5	90	157.5	247.5
Число электрических секций	2	3	3	3	3	3	3
Мощность одной секции, кВт	7.5	7.5	15	22.5	30	52.5	82.5
Производительность по воздуху, м ³ /ч	1000	2000	3000	4000	6000	8000	12000
Перепад t входящего / выходящего воздуха, °С	до 30	до 45	до 55	до 60	до 60	до 65	до 70
Аэродинамическое сопротивление модуля, Па	150	200	200	250	250	250	300
Давление, развиваемое вентилятором, Па	190-100	300-160	510-270	350-190	830-450	570-310	1350-730
Номер вентилятора ВЦ 4-75	2.5	3.15	4	5	5	6.3	6.3
Двигатель вентилятора, кВт	0.25	0.25	0.75	0.75	2.2	2.2	7.5
об/мин	1500	1500	1500	1000	1500	1000	1500
Напряжение питающей сети, В	380						
Частота питающей сети, Гц	50						
Число фаз питающей сети	3						
Напряжение на нагревателе, В	220						
Схема соединения нагревателей	Y						
Тип ТЭНов	оребрённые						
Габаритные размеры, мм	1250x715x680	1350x715x790	1450x800x930	1550x920x100	1550x920x100	1720x1150x1400	2600x1150x1715
Масса агрегата в сборе, кг	80	100	140	190	200	260	380

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев А.С., Огородников Д.Д., Юдаев И.В. Энергосбережение в сельском хозяйстве: Учебное пособие/ А.С. Гордеев, Д.Д. Огородников, И.В. Юдаев. – СПб.: Издательство "Лань", 2014, – 400 с.

2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: ИНФРА-М, 2017, – 262 с.

3.Лабораторный практикум по электротехнологии. / Составители: П.Л.Лекомцев, А.В.Савушкин, О.Г.Долговых, А.М.Ниязов. – Ижевск, ИжГСХА, 2014 – 67 с.

4.Малкин Н.И.Применение теплоты в сельском хозяйстве. Тематика заданий и методические указания по выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения, специальностей 03.05.01 и 10.04.00. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2005. – 31 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
2. Постановление Правительства РФ от 25.01.2011 г. № 18 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений».
3. Постановление Правительства РФ от 25.01.2011 г. № 19 «Об утверждении Положения о требованиях, предъявляемых к сбору, обработке, систематизации, анализу и использованию данных энергетических паспортов, составленных по результатам обязательных и добровольных энергетических обследований».
4. Сборник нормативно-правовых документов по энергосбережению и энергоэффективности, часть 1. – М.:ФГБУ ИПК Минобрнауки России, 2013, - с.230
5. Сборник нормативно-правовых документов по энергосбережению и энергоэффективности, часть 2. – М.:ФГБУ ИПК Минобрнауки России, 2013, - с.214
6. Сборник нормативно-правовых документов по энергосбережению и энергоэффективности, часть 3. – М.:ФГБУ ИПК Минобрнауки России, 2013, - с.284
7. Сборник нормативно-правовых документов по энергосбережению и энергоэффективности, часть 4. – М.:ФГБУ ИПК Минобрнауки России, 2013, - с.184
8. ГОСТ Р 51379—99 Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы
9. ГОСТ Р 51380—99 Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям. Общие требования.
10. ГОСТ Р 51541—99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.
11. ГОСТ Р 51388—99 Энергосбережение. Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения. Общие требования.
12. ГОСТ Р 5187-99 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения.
13. Ляпин В.Г. Проектирование и энергоаудит электрического освещения. Учебное пособие/Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск, 2001. – 230 с.
14. Ляпин В.Г. Проектирование и энергоаудит электрического нагрева и специальных видов электротехнологий. Учебное пособие/Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск, 2007. – 130 с.

15. Ляпин В.Г. Электрическое освещение и облучение. Лабораторный практикум/Новосиб. гос. аграр. ун-т; Сост.: В.Г. Ляпин. Новосибирск, 2007. – 114 с.
16. Ляпин В.Г. Электрический нагрев. Лабораторный практикум/Новосиб. гос. аграр. ун-т; Сост.: В.Г. Ляпин. Новосибирск, 2007. – 96 с.
17. Ляпин В.Г. Светотехника и электротехнологии. Варианты расчетно-графической работы по электрическому нагреву / Новосибир. гос. аграр. ун-т; Сост.: В.Г. Ляпин, В.Н. Делягин. – Новосибирск, 2013. – 12 с.
18. Светотехника и электротехнология /Л.А. Баранов, В.А. Захаров. – М.: КолосС, 2008. – 344 с. (базовый).
19. Современные энергосберегающие электротехнологии/Ю.И. Блинов, А.С. Васильев, А.Н. Никаноров и др. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2000. – 548 с.
20. Электротехнология/В.А. Карасенко и др. – М.: Колос, 1992. – 304 с.
21. Электротехнология/А.М. Басов и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
22. Афанасьева Е.И., Скобелев В.М. Источники света и пускорегулирующая аппаратура. –М.: Энергоатомиздат, 1986. 272 с.
23. Баев В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению. – М.: Агропромиздат, 1991. – 152 с.
24. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп/А.Е. Краснопольский, В.Б. Соколов, А.М. Троицкий. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
25. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для студентов вузов. – М.: Логос, 1999. – 480 с.
26. Кунгс Я.А., Цугленок Н.В. Практикум по электротехнологическому освещению и облучению: Учеб. пособие/Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 1998. – 233 с.
27. Цугленок Н.В., Кунгс Я.А., Михеева Н.Б. Энергосберегающие технологии освещения и облучения: Учеб. пособие/Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2000. – 174 с.
28. Айзенберг Ю.Б. Основы конструирования световых приборов: Учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1996. – 704 с.
29. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Основы энергосбережения: Учебник / под общ. ред. Н.И. Данилова.- 4-е изд. перераб. и доп. .- Екатеринбург: «Автограф», 2011.- 592 с.
30. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология энергосбережения: учебник /2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФОРУМ, 2010.- 352 с.
31. Энергосбережение в ЖКХ: Учебное – практическое пособие / под ред. Л.В. Примака, Л.Н. Чернышовой. – М.: Академический проект; АльмаМатер, 2011.- 622 с.
32. Аратюнян А.В. Основы энергосбережения. - М.: ОАО «Энергосбережение», 2007.- 600 с.
33. Беляев Е.И., Зиновьев Ю.В. Энергоаудит для подготовки энергетического паспорта: Учебное пособие. - Раменское: ИПК ТЭК,2012- 52 с.
34. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Экологические проблемы использования топлива. - Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс. 2004 г. - 109 с.
35. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энергосбережение для всех. - Екатеринбург: Энерго-Пресс. 2009 г. - 132 с.

36. Данилов Н.И., Щелоков Я.М., Лисиенко В.Г. Развитие энергоэффективных технологий и техники. - Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс. 2004 г. - 144 с.
37. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Основы энергосбережения: учебник /под ред. Н.И. Данилова. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2010. 564 с.
38. Зиновьев Ю.В., Рагуткин А.В., Лазарева Т.К. Энергетическое обследование (энергоаудит) в условиях саморегулирования: Учебное пособие. - Раменское: ИПК ТЭК, 2011.-28 с.
39. Лукашевич О.Д., Колбек М.В. Энергосбережение: социально-экологический проект: Учебно-методическое пособие. – Томск : Том. гос. архит.-строит. ун-т. – 2009. – 40 с.
40. Методические рекомендации по проведению энергетического обследования: Пособие для начинающих аудиторов/ под ред. Мукаева А.И..- Раменское: ИПК ТЭК, 2012.- 37 с.
41. Мукаев А.И. Управление энергосбережением и повышение энергетической эффективности в организациях и учреждениях бюджетной сферы: Практическое пособие. - Раменское: ИПК ТЭК, 2011.-256 с.
42. Самойлов М.В., Паневчик В.В., Ковалев А.Н. Основы энергосбережения: Учеб.пособие. – Мн.: БГЭУ, 2012. – 198 с.
43. Тепло– и холодоустойчивость животных. Эколого–генетическая природа различий/ Отв.ред. Ю.О. Раушенбах// АН СССР. Сиб.отд–ние. – Новосибирск: Наука,1975. – 354 с.
44. Делягин, В.Н. Рациональное энергообеспечение сельскохозяйственного производства Западной Сибири на электроэнергетической основе: метод. реком./ подг. В.Н. Делягин. Новосибирск. ВАСХНИЛ Сиб.отд–ние.– Новосибирск,1982. – 46 с.
45. Пчелкин, Ю.Н. Методические рекомендации по расчету теплопотребления на обеспечения микроклимата животноводческих помещений/ Ю.Н. Пчелкин. – Запорожье,1979. – 29 с.
46. Делягин, В.Н. Рекомендации по расчету, проектированию и применению систем электротеплоснабжения животноводческих ферм и комплексов: реком./ Делягин В.Н, Пирховка П.Я., Канакин Н.С., Расстригин Н.И [и др.]– М.: МСХ СССР, ВАСХНИЛ, Главсельстройпроект,1983.– 47 с.
47. Захаров А.А. Практикум по применению теплоты в сельском хозяйстве. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1985. - 175с.
48. Гордеев А.С., Огородников Д.Д., Юдаев И.В. Энергосбережение в сельском хозяйстве: Учебное пособие/ А.С. Гордеев, Д.Д. Огородников, И.В Юдаев. – СПб.: Издательство "Лань", 2014, – 400 с.
49. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: ИНФРА-М, 2017, – 262 с.
50. Лабораторный практикум по электротехнологии. / Составители: П.Л.Лекомцев, А.В.Савушкин, О.Г.Долговых, А.М.Ниязов. – Ижевск, ИЖГСХА, 2014 – 67 с.
51. Малкин Н.И. Применение теплоты в сельском хозяйстве. Тематика заданий и методические указания по выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения, специальностей 03.05.01 и 10.04.00. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2005. – 31 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Тема №1 Введение в энергосберегающие электротехнологии и энергоаудит.....	3
Тема 2 Основы теории и расчета электронагревательных устройств.....	4
Тема 3. Электронагрев сопротивлением.....	5
Тема 4. Электродный и индукционный нагрев.....	6
Тема 5. Инфракрасный и диэлектрический нагрев.....	8
Тема 6. Электронагревательные установки сельскохозяйственного назначения.....	9
Тема 7. Электротехнологии в АПК.....	11
Тема 8. Энергосбережение в технологических процессах АПК.....	13
Тема №9. Энергоаудит.....	14
1. Задание к контрольной работе по энергосберегающим электротехнологиям и энергоаудиту.....	16
2. Пример расчета параметров систем обеспечения температурно-влажностного режима животноводческого помещения.....	17
2.1 Формирование исходных данных по расчету системы обеспечения температурно-влажностного режима помещений.....	17
3. Определение установленной мощности и расхода энергии системами отопления и горячего водоснабжения (типовое помещение-коровник на 200 голов).....	18
3.1. Уравнение теплового баланса животноводческого помещений.....	18
3.2 Расчет теплопотерь через ограждения.....	19
3.3 Расчет теплопотерь на испарение со смоченных поверхностей.....	22
3.4 Расчет теплопотерь на подогрев приточного воздуха.....	22
3.5. Определение мощности калориферов для подогрева подаваемого воздуха.....	25
3.6 Расчет объемов потребления энергии системами обеспечения нормируемого температурно-влажностного режима помещений.....	26
3.7 Расчет параметров температурно-влажностного режима вспомогательных помещений.....	29
3.8 Энергосберегающие режимы вентиляционно-отопительных систем животноводческих помещений.....	30
3.10 Подбор вентилятора и выбор мощности электродвигателя.....	40
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	46
СОДЕРЖАНИЕ.....	50
Приложение	51

ПРИЛОЖЕНИЕ

Данные нормативных материалов и СНиП.

Таблица П1.1- Нормы выделения от одного животного, углекислоты и водяных паров животными

Производственная группа животных	Живая масса животных, кг	Водяные пары, г/ч	Углекислота (CO ₂), г/ч
Хряки-производители	200	194	61,3
	300	247	78,2
Свиноматки холостые, супоросные (до 105 дней)	150	134	42,5
	200	155	48,9
Свиноматки тяжелосупоросные (105-114 дней)	150	162	51,2
	200	183	57,9
Свиноматки подсосные с поросятами	150	319	102
	200	369	117
Поросята до 2-месячного возраста	10	41,1	13
	15	52,6	16,7
Поросята-отъемыши	15	52,6	16,7
	20	58,8	18,6
	25	62,8	19,9
	30	68,4	21,6
	35	75,2	23,8
	40	82,1	26
Ремонтный и откормочный молодняк	40	82,1	26
	50	94,1	29,8
	60	104,0	32,8
	70	114,0	35,9
	80	123,0	38,8
	90	130,0	41,1
	100	138,0	43,7
	110	144,0	45,6
	120	150,0	47,5
		130	156,0
Взрослые свиньи на откорме	100	152,0	
	200	204,0	
	300	259,0	

Таблица П1.2- Нормы выделения от одного животного, углекислоты и водяных паров птиц

Вид и возрастная группа птицы	Живая масса птицы, кг	Углекислота, л/ч	Тепло кДж/ч (ккал/ч)		Водяные пары, г/ч
			свободное	общее	
А. Взрослая птица					
Куры яичных белых и коричневых кроссов:					
а) промышленного стада	1,5 - 1,7	1,54	24,6 (5,88)	35,7 (8,53)	4,50
б) родительского и прародительского стада	1,6 - 1,7	1,54	24,6 (5,88)	36,7 (8,53)	4,50
Куры мясных пород (на полу)	2,9 - 3,2	1,44	21,3 (5,08)	32,6 (7,3)	3,75
Индейки	5,5 - 9,0	1,32	17,4 (4,16)	27,80 (6,62)	4,20
Утки	2,8 - 3,8	1,11	28,3 (6,76)	41,87 (10,0)	5,70
Гуси	5,0 - 5,8	1,00	10,5 (2,47)	17,8 (4,26)	3,0
Б. Молодняк птицы					
Ремонтный молодняк яичных кур в возрасте, недель:					
1	0,50	2,58	63,6 (15,24)	83,0 (19,86)	7,90
2 - 4	0,2 - 0,25	2,20	51,2 (12,24)	64,55 (15,45)	5,50
5 - 9	0,5 - 0,6	1,53	30,2 (7,20)	38,22 (9,10)	3,30
10 - 17	1,30	1,26	27,9 (6,66)	35,8 (8,46)	3,12
18 - 22	1,45	1,02	26,4 (6,3)	33,72 (8,05)	3,00
Молодняк мясных кур					
а) ремонтный в возрасте, недель:					
1	0,06	2,37	56,3 (13,45)	66,6 (15,91)	4,20
2 - 4	0,50	2,20	42,0 (10,22)	50,8 (12,12)	3,30
5 - 7	1,2 - 1,25	1,74	29,10 (6,96)	37,20 (8,8)	3,30
9 - 18 (19)	2,2 - 2,3	1,40	19,5 (4,67)	26,8 (6,42)	3,00
19 (20) - 26	2,5 - 2,8	1,28	20,3 (4,86)	27,7 (6,51)	3,00
б) на мясо в возрасте, недель:					
1	0,08	2,37	36,4 (13,47)	66,7 (15,93)	4,20
2 - 4	0,50	2,20	42,8 (10,22)	50,8 (12,13)	3,30
5 - 7 (в клетках)	1,35 - 1,5	1,44	29,12 (6,96)	37,22 (8,9)	3,30
5 - 8 (на полу)	1,45 - 1,65	1,63	31,0 (7,40)	39,43 (9,42)	3,45
Молодняк индеек:					

Вид и возрастная группа птицы	Живая масса птицы, кг	Углекислота, л/ч	Тепло кДж/ч (ккал/ч)		Водяные пары, г/ч
			свободное	общее	
а) ремонтный в возрасте, недель:					
1	0,10	2,80	43,9 (10,48)	72,08 (17,23)	11,18
2 - 4	0,80	2,10	33,6 (12,97)	54,4 (12,97)	6,50
5 - 6	1,90	1,82	36,6 (8,75)	50,27 (12,0)	5,57
9 - 17	4,0 - 6,0	1,43	24,5 (5,85)	34,04 (8,13)	3,90
18 - 33	5,5 - 8,0	1,52	26,1 (6,24)	36,4 (8,7)	4,20
б) на мясо в возрасте, недель:					
1	0,10	2,80	44,0 (10,5)	72,08 (17,23)	11,18
2 - 4	0,60	2,10	33,5 (8,0)	54,3 (12,97)	8,50
5 - 8	1,90	1,82	36,6 (8,75)	50,27 (12,0)	5,57
9 - 16	3,545	1,32	22,6 (5,40)	32,16 (7,68)	3,90
9 - 23	6,0 - 8,0	1,20	19,6 (4,68)	29,15 (6,96)	3,75
Молодняк уток					
а) ремонтный в возрасте, недель:					
1	0,2 - 0,3	3,10	62,0 (14,82)	86,9 (20,7)	15,15
2 - 4	1,0 - 1,5	1,80	40,3 (9,63)	61,5 (14,72)	8,70
5 - 7 (8)	2,0 - 2,6	0,92	21,2 (5,07)	28,7 (6,84)	4,50
8 (9) - 21	2,4 - 2,8	0,89	19,0 (4,55)	29,4 (7,03)	4,05
22 - 26 (28)	2,8 - 3,2	0,89	18,8 (4,5)	25,5 (6,1)	4,05
б) на мясо в возрасте, недель:					
1	0,20	3,10	62,0 (14,82)	86,9 (20,7)	15,15
2 - 4	1 - 5	1,80	40,3 (9,3)	61,50 (14,72)	8,70
5 - 8 (8)	2,0 - 2,8	1,23	21,5 (5,14)	38,14 (9,1)	4,50
Молодняк гусей					
а) ремонтный в возрасте, недель:					
1	0,10	2,80	44,0 (10,5)	72,08 (17,22)	12,30
2 - 3 (4)	1,5 - 1,7	2,77	40,3 (9,62)	67,4 (16,10)	11,07
4 (5) - 9	3,5 - 3,7	1,32	22,6 (5,41)	33,55 (8,01)	4,47

Вид и возрастная группа птицы	Живая масса птицы, кг	Углекислота, л/ч	Тепло кДж/ч (ккал/ч)		Водяные пары, г/ч
			свободное	общее	
10 - 34	3,8 - 4,0	0,78	10,9 (2,60)	18,23 (4,36)	3,00
б) на мясо в возрасте, недель:					
1	0,10	2,80	44,0 (10,5)	72,08 (17,22)	12,30
2 - 4	1,4 - 1,6	2,00	40,3 (9,62)	67,4 (16,1)	11,07
5 - 9	5,7 - 4,0	1,43	22,8 (5,44)	33,8 (8,07)	4,50

Таблица П1.3- Нормы выделения животными влаги и явной теплоты по ОНТН.1-77 на 200 голов крупного рогатого скота при расчетных внутренних параметрах микроклимата ($t_{вн}$ расчет = 10°C; $L_{вн}$ расчёт = 70 %)

Группа животных	Средняя живая масса одного животного, кг	Влаговыведения животного (m), кг/ч	Явные тепло-выделения ($Q_{ж}$), кВт	
1	2	3	4	
Коровы стельные сухостойные и нетели за 2 мес. до отёла.	300	63,8	111,2	
	400	76,0	132,4	
	600	97,8	170,4	
	800	114,8	200,2	
Коровы лактирующие при уровне лактации				
	5 л.	300	63,8	110,2
		400	75,4	131,4
		500	81,6	140,0
	600	97,0	169,0	
10 л.	300	68,0	118,6	
	400	80,8	140,8	
	500	91,0	158,6	
	600	101,0	176,0	
15 л.	300	78,4	136,8	
	400	91,6	159,8	
	500	101,4	176,8	
	600	109,8	191,4	

Таблица П2.1- Оптимальные параметры микроклимата для КРС

Тип помещения и возрастная категория животных		Параметры микроклимата в животноводческих помещениях							
		Температура, °С	Относительная влажность, %	Подвижность воздуха, м/сек			ПД К CO ₂ %	ПД К NH ₃ мг/м ³	H ₂ S
				Зима	Весна, осень	Лето			
Коровы и молодняк старше года	Привязное и беспривязное боксовое	10 (8-12)	75 (40-85)	0,3-0,4	0,5	0,8-1,0	0,25	20	10
	Беспривязное на глубокой подстилке	6 (5-8)	75 (40-85)	0,2-0,4	0,5	0,8-1,0	0,25	20	10
Родильное отделение		16 (14-18)	75 (40-75)	0,2	0,3	0,5	0,15	10	5
Профилакторий		18 (16-20)	75 (40-85)	0,1	0,2	0,3-0,5	0,15	10	5
Помещение для телят в возрасте (дней)	20-60	17 (16-18)	75 (40-85)	0,1	0,2	0,3-0,5	0,15	10	5
	60-120	15 (12-18)	75 (40-85)	0,2	0,3	до 1,0	0,25	15	10
Коровы и молодняк старше года	Молодняк 4-12 мес.	12 (8-16)	75 (40-85)	0,3	0,5	1,0-1,2	0,25	20	10
	Телки старше 1 года и нетели	12 (8-16)	75 (40-85)	0,3	0,5	0,25	20	10	
	Бычки на откорме	10 (8-12)	75 (40-85)	до 1,0	до 1,0	до 1,0	0,25	20	10

Концентрация вредных газов в воздухе помещений для содержания животных не должна превышать: углекислого газа 0,25%, аммиака 0,02 мг/л, сероводорода 0,015 мг/л.

Таблица П2.2 Нормативные значения температуры и влажности внутреннего воздуха в помещениях для содержания свиней

Группа животных	Температура воздуха в помещении, °С			Относительная влажность воздуха в помещении, %	
	расчетная	максимальная	минимальная	максимальная	минимальная
Хряки	16	19	13	75	40
Матки холостые и супоросные	16	19	13	75	40
Матки подсосные с поросятами	20	22	18	70	40
Свинки ремонтные на выращивании	20	22	18	70	40
Свиньи на откорме	18	20	14	70	40

Таблица П2.3.- Нормативные значения температуры и влажности внутреннего воздуха в помещениях для содержания птицы

Вид и возрастная группа птицы	Оптимальная температура в холодный период года, °С			Оптимальная относительная влажность, %
	напольное содержание		клеточное содержание	
	в помещении	под брудером		
1	2	3	4	5
Взрослая птица				
Куры	16-18	-	16-18	60-70
Индейки	16	-	-	70-80
Утки	14	-	-	70-80
Гуси	14	-	-	70-80
Молодняк птицы				
Ремонтный молодняк кур в возрасте, недели:				
1-4	24-28	24-35	24-33	60-70
6-6 (17)	20-22	-	20-22	60-70
Цыплята-бройлеры, крупные мясные цыплята в возрасте, недели:				
1	26-28	30-35	28-32	65-70
2-3	22	26-29	24-25	65-70
4-6	20	-	20	65-70
7-8 (10)	18	-	18	60-70

Таблица П.3 - Расчетные параметры наружного воздуха для расчета систем отопления и вентиляции

город	$t_{нх}$	$t_{нж}$	$t_{ни}$	v_x	v_j	ϕ_x	ϕ_j	$\phi_{ср}$
Барнаул	-39	23,9	19,7	3,2	2,9	76	54	72
Братск	-43	22,5	18,2	2,1	2,4	78	56	68
Екатеринбург	-31	20,7	17,4	4,4	3,9	74	54	70
Иркутск	-38	22,7	17,6	2,1	2,4	78	58	67
Красноярск	-40	22,5	18,7	2,2	1,8	72	52	65
Москва	-25	22,3	19,3	5,1	3,4	83	50	72
Новосибирск	-39	22,7	18,7	3,9	3,1	77	56	68
Омск	-37	22,4	18,3	-	-	80	52	63
Оренбург	-29	26,9	21,9	4,5	3,6	78	40	72
Томск	-40	21,7	18,1	4,8	3,3	78	59	69
Тюмень	-35	22,4	18,6	3,7	3,4	78	58	74
Улан-Удэ	-38	23,7	19,4	2,1	2,7	70	50	59
Хабаровск	-32	24,1	21,1	3,6	3,5	71	67	64
Челябинск	-29	22,8	18,8	4,2	3,9	78	54	71
Чита	-38	24,0	18,8	1,3	1,9	64	53	73
Якутск	-55	23,0	18,7	1,5	2,9	72	44	62

Где $t_{нх}$ -средняя температура наиболее холодной пятидневки, °С

$t_{нж}$ -температура в 13 час самого жаркого месяца, °С

$t_{ни}$ -средняя температура июля месяца, °С

v_x -скорость ветра за три наиболее холодных месяца, м/сек

$v_ж$ - скорость ветра за три наиболее теплых месяца, м/сек

ϕ_x -относительная влажность самого холодного месяца, %

$\phi_ж$ -относительная влажность самого жаркого месяца, %

$\phi_{ср}$ -относительная влажность при среднемесячной температуре +5 °, %

Таблица П4.1- Теплотехнические характеристики строительных материалов и конструкций

Наименование материала	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность,Вт/(м ² К)
Силикатный кирпич	1800	0,87
Глиняный кирпич	1800	0,81
Рубероид	600	0,17
Известково-песчаный раствор	1600	0,81
Сосна поперек волокон	500	0,18
Плиты минераловатные	50	0,06
Рубероид	600	0,17

Таблица П4.2-Термическое сопротивление (Ro) и коэффициенты теплопередачи (K) некоторых строительных ограждений (с внутренней штукатуркой)

Конструкция стен	Толщина		Объемная масса, кг/м	Ro, (ч-м ² -°С\ч)	K, ккал/чм ² °С
	кирпичей или камней	мм			
Сплошная кладка из обыкновенного кирпича на тяжелом растворе	1,5	399	1800	0,76	1,32
	2,0	525	1800	0,94	1,06
	2,5	665	1800	1,13	0,89
	3,0	785	1800	1,32	0,76
из обыкновенного кирпича на легком растворе	1,5	395	1700	0,79	1,2
	2,0	525	1700	0,99	6
	2,5	655	1700	1,19	1,01
	3,0	785	1700	1,39	0,84
из силикатного кирпича на тяжелом растворе	1,5	395	1900	0,71	1,41
	2,0	525	1900	0,88	1,14
	2,5	665	1900	1,08	0,93
	3,0	785	1900	1,23	0,81
из дырчатого кирпича на тяжелом растворе	1,5	395	1360	0,89	1,1
	2,0	525	1360	1,12	2
	2,5	655	1360	1,40	0,89
из легкогобетонных камней с перевязкой тычковыми рядами	1,0	405	1800	0,78	1,78
	1,5	605	1800	1,10	0,91
из легкогобетонных камней со щелевыми пустотами	0,5	205	1800	0,61	1,6
	1,0	405	1800	1,01	4
	1,25	509	1800	1,22	0,99
из бута на тяжелом растворе	-	60	2400	0,51	1,9
	-	0	2400	0,61	6
	-	800	2400	0,71	1,64
из крупных шлакобетонных блоков с наружным фактурным слоем (20-3Ш мм)	-	300	1000	1,07	0,93
	-	500	1000	1,65	0,61
	-	300	1400	0,76	1,31
	-	500	1400	1,12	0,89
Стены деревянные: рубленные	-	200	-	1,33	0,75
	-	220	-	1,45	0,68
брусчатые	-	150	-	1,18	0,85
	-	200	-	1,32	0,66

Таблица П4.3-Термическое сопротивление (R_0) и коэффициенты теплопередачи (K) для не утепленных полов

Зоны	Зоны, размещенные от наружных стен на расстояние	R_0	K
I	До 2-х метров	2,5	0,4
II	От 2-х до 4-х метров	5,0	0,2
III	От 4-х до 6-ти метров	10,0	0,1
IV	Остальная площадь пола (центральная часть помещения)	16,5	0,06

Таблица П4.4-Термическое сопротивление (R_0) и коэффициенты теплопередачи (K) для окон и дверей

Конструкции заполнения проема	Расстояние между стеклами, мм	R_0	K
<i>Одинарный переплет:</i>			
одинарное остекление	-	0,2	5,0
двойное остекление	25-35	0,4	2,5
<i>Двойные переплеты:</i>			
раздельные (двойное остекление)	75-150	0,44	2,3
спаренные (двойное остекление)	30-60	0,4	2,5
раздельные (одинарное + двойное остекление)	75-100	0,6	1,67
<i>Сплошные деревянные наружные двери и ворота:</i>			
Одинарные	-	0,25	4,0
Двойные	-	0,5	2,0

Таблица П5.-Физические свойства влажного воздуха при давлении 101,3 кПа (760 мм рт. ст.)

Температура наружного воздуха, °С	Плотность сухого воздуха, кг/м ³	Влажосодержание воздуха в насыщенном состоянии, днаст.нг/м ³	Температура, °С	Плотность сухого воздуха, кг/м ³	Содержание влаги в воздухе в насыщенном состоянии, г/м ³
-20	1,396	0,88	6	1,265	7,3
-19	1,394	0,96	7	1,261	7,8
-18	1,385	1,05	8	1,256	8,3
-17	1,379	1,15	9	1,252	8,8
-16	1,374	1,27	10	1,248	9,4
-15	1,368	1,38	11	1,243	10,0
-14	1,363	1,51	12	1,239	10,7
-13	1,358	1,65	13	1,235	11,4
-12	1,353	1,80	14	1,230	12,1
- 11	1,348	1,96	15	1,226	12,8
-10	1,342	2,14	16	1,222	13,6
-9	1,337	2,33	17	1,217	14 5
-8	1,332	2,54	18	1,213	15,4
-7	1,327	2,76	19	1,209	16,3
-6	1,322	2,99	20	1,205	17,3
- 5	1,317	3,24	21	1,201	18,3
-4	1,312	3,51	22	1,197	19,4
-3	1,308	3,81	23	1,193	20,6
-2	1,303	4,13	24	1,189	21,8
-1	1,298	4,47	25	1,185	23,0
0	1,293	4,84	26	1,181	24,4
1	1,288	5,22	27	1,177	25,8
2	1,284	5,60	28	1,173	27,2
3	1,279	5,98	29	1,169	28,7
4	1,275	6,40	30	1,165	30,3
5	1,270	6,84			

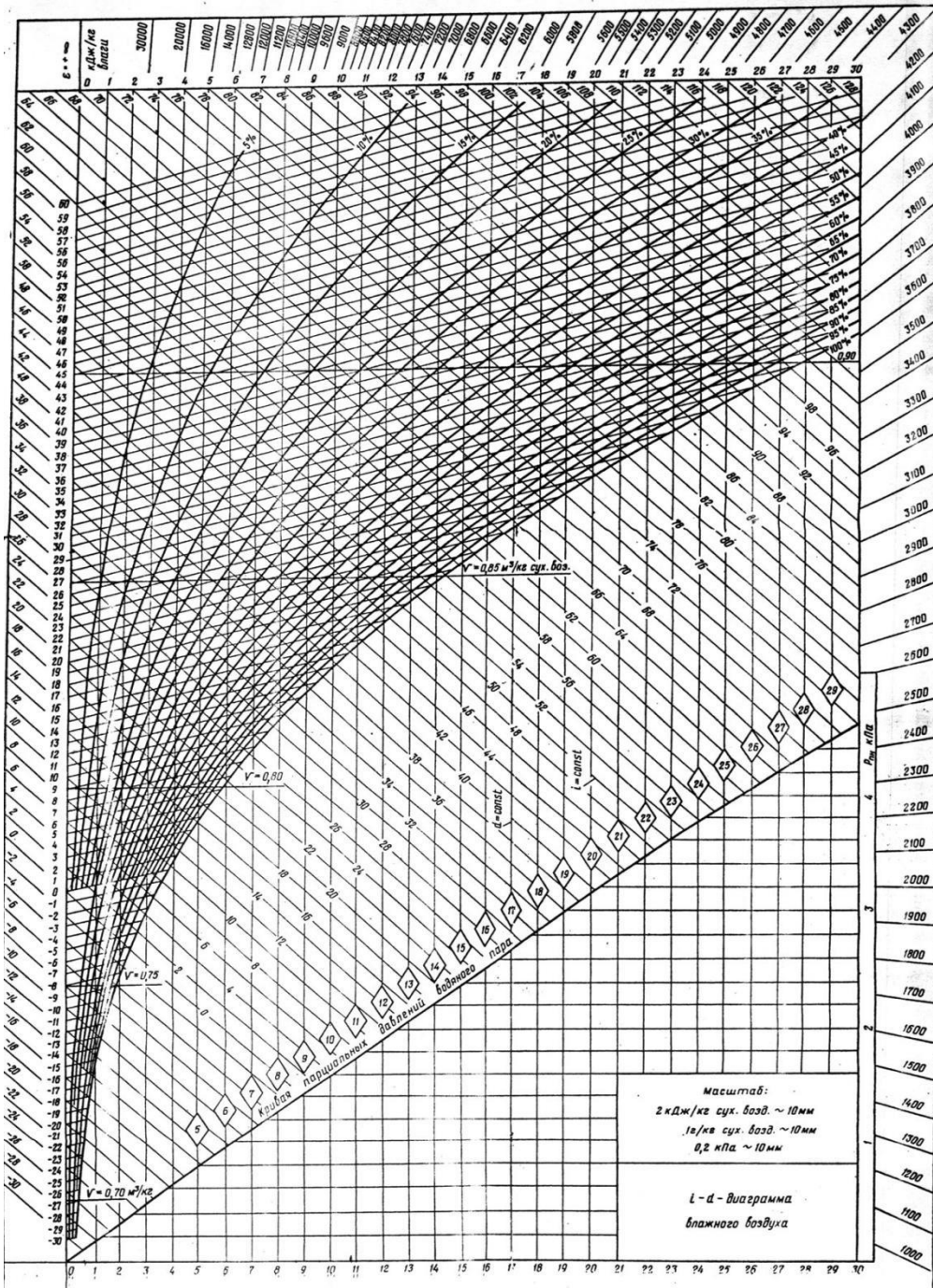


Рисунок П1- *I-d* диаграмма воздуха