

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

Энергосберегающие электротехнологии и энергоаудит

Методические указания
по самостоятельной и контрольной работы



Новосибирск 2017

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

Составитель *В.Н. Делягин*, д-р техн. наук, проф.

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

Энергосберегающие электротехнологии и энергоаудит: метод. указания по сам. и контр. раб./ Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер.ин-т; сост. В.Н. Делягин. – Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2017. – 49 с.

Содержат теоретические материалы курса данной дисциплины, а также 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 35.03.06. – Агроинженерия. профиль: «Электрооборудование и электротехнологии в АПК»

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол № 8 от 28 марта 2017 г.).

Введение

Дисциплина «Энергосберегающие электротехнологии и энергоаудит» содержит в себе такие разделы как электротехнологический нагрев а также рациональное энергосбережение, как тепловой, так и электрической энергии. Комплексное выявление теплопотерь зданий и выявления электрических потерь в рамках энергоаудита.

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;
- традиционные и нетрадиционные энергоисточники;
- 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 управления производством.

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.

1. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

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 технологических 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 затраты 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:

Значение, технико – экономические предпосылки и перспективы применения электронагрева в сельском хозяйстве. Основы теории электрического нагрева. Способы электронагрева и классификация электронагревательных установок. Задача и содержание расчета электронагревательных устройств. 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, 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 друга.

Поскольку плотность тока для одного типа носителей определяется формулой:

$$j=q \cdot n \cdot v$$

где q — заряд одного носителя, ;

n — концентрация носителей;

$v_{ср.}$ — средняя скорость их движения,

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 ионная 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 (действующая 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 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 и 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 поглоще-

ния 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 ЭМ-поля 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. Электротерморадиационные сушилки. Сушка в электрическом поле высокой частоты. Электротепловая обработка кормов. Электрооборудование картофелехранилищ.

Области использования электронагрева в закрытом грунте. Способы элект-

трического 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. Техничко-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 теплопотреблению) и высоким эксплуатационным свойствам электроустановок (низкие затраты труда, практически полное исключение размораживания системы, низкая аварийность основного электротехнического оборудования,). Рекомендуются 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 за-

крытом 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. Электрозерноочистительные 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 используемые в АПК в основном 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 коронном 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 электрозерноочистительных 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. Техно-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 энергосбережению 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 ме-

тоды 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 топливо-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». Энергоемкость производства продукции. Экономия и непроизводительный расход топливо-энергетических ресурсов. Коэффициент полезного использования энергии. Энергосберегающая технология. Энергосбережение, показатель энергосбережения, энергетическое обследование. Топливо-энергетический баланс. Энергоаудитор. 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 отопления, 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. Разработка рекомендаций и мероприятий по энергосбережению.

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.

2. 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;

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

Представленный пример расчета параметров температурно-влажностного режима животноводческих помещений составлен по [5]–[7].

3.1 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 теплотерь через ограждающие конструкции принимаем $t_n = -30^\circ\text{C}$, расчетная наружная температура для систем вентиляции принимаем равной $t_{н.в.} = -30^\circ\text{C}$, расчетная температура внутри помещения $t_{в.} = 10^\circ\text{C}$. (Табл. П2.1)

Здание запроектировано одноэтажным, прямоугольной формы с размерами в плане 78×21 м., высота 3,8 м, окна 45 шт. размером $1,3 \times 1,0$ м.

Расчетные параметры температуры и влажности воздуха:

- наружного воздуха -30°C ;
- внутреннего воздуха $+10^\circ\text{C}$;
- 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/м $\cdot^\circ\text{C}$;
- бетонное основание $\delta = 0,6$ м; $\lambda = 1,45$ Вт/м $\cdot^\circ\text{C}$;
- деревянные скаты $\delta = 0,037$ м; $\lambda = 0,17$ Вт/м $\cdot^\circ\text{C}$;
- 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/м $\cdot^\circ\text{C}$);
- пароизоляция (битум) ($\delta = 0,02$ м, $\lambda = 0,27$ Вт/м $\cdot^\circ\text{C}$);

маты минераловатные ($\delta = 0,07$ м, $\lambda = 0,07$ Вт/м·°C);

железобетонные плиты ($\delta = 0,15$ м, $\lambda = 1,98$ Вт/м·°C).

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 $1,82 \times 0,8$ м - 19 шт.

Ворота - 4 шт. с размерами $2,6 \times 2,7$ м.

Дверной блок Д1 – 5 шт. с размерами $1,20 \times 2,08$ м.

Отделочные работы: Заделки в керамзитобетонных панелях оштукатуриваются, внутренние стены и перегородки выполняются с расшивкой швов. Внутренние стены и потолки белятся известью за два раза с 5% гидрофабризирующим 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 м площади пола - 12 Вт/(м · °C) [10 ккал/(м · ч·°C)]; для стен помещений, где заполнение животными составляет 80 кг и менее живой массы на 1 м пола, и для потолков (чердачных перекрытий или покрытий) всех животноводческих и птицеводческих зданий - $8,7$ Вт/(м · °C) [$7,5$ ккал/(м · ч·°C)].

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

4.1.Уравнение теплового баланса животноводческого помещений

$$Q_d = Q_{ув} + Q_{огр} + Q_{исп} - Q_{жс}^{св}$$

где Q_d – мощность системы обеспечения требуемого температурно-влажностного режима помещений, Вт;

$Q_{ув}$ – теплота, необходимая на подогрев приточного воздуха, Вт;

$Q_{огр}$ – теплопотери через ограждающие конструкции, Вт ;

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

Расчет тепlopоступлений от животных

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

где $1,163 \cdot 10^{-3}$ – 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.

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

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

Температура воздуха, °С	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

4.2 Расчет теплопотерь через ограждения

$$Q_{огр} = Q_{ст} + Q_n + Q_{пол} + Q_{ок} + Q_{дв} =$$

$$= \left[\frac{F_{ст}}{R_{ст}} + \frac{F_n}{R_n} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} + \sum_1^3 \frac{F_{зони}}{R_{зони}} + \frac{F_{дв}}{R_{дв}} \right] (t_в - t_n) \cdot 10^{-3}.$$

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

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

$R_{ст}, R_n, R_{ок}, R_{зони}, R_{дв}$ – сопротивление теплопередаче элементов ограждающих конструкций;

$t_в, t_n$ – расчетная температура внутреннего и наружного воздуха по СНиП, табл. П2 и табл.П3.

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

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

$$R_{ст} = \frac{(t_в - t_n^1)}{\alpha_{вст}(t_в - \tau_p)},$$

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

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

Для наружных стен толщиной в два кирпича, оштукатуренных изнутри:

$$\begin{aligned} \lambda_{\kappa} &= 0,81 \text{ Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C}; & \delta_{\kappa} &= 0,51 \text{ м}; \\ \lambda_{шт} &= 0,93 \text{ Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C}; & \delta_{шт} &= 0,015 \text{ м}; \\ R_{\kappa} &= 0,115 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}. \end{aligned}$$

Подставив числовые значения, получим:

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

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

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

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

Сопротивление теплопередаче двойных окон:

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

Сопротивление теплопередаче ворот и дверей:

$$R_{дв} = 0,58 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче через бетонный пол с деревянными щитами:

- шлаковая подготовка $\delta = 0,1 \text{ м}; \quad \lambda = 0,29 \text{ Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C};$
- бетонное основание $\delta = 0,6 \text{ м}; \quad \lambda = 1,45 \text{ Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C};$
- деревянные скаты $\delta = 0,037 \text{ м}; \quad \lambda = 0,17 \text{ Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C};$
- 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.) Потерями теплоты через внутренние торцовые стены пренебрегаем.

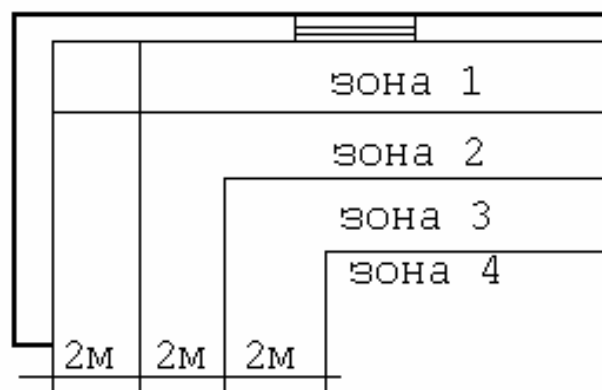


Рисунок 1 – Разбивка пола на зоны.

Сопротивление теплопередаче для каждой зоны определяем по формуле:

$$R_{зони} = R_{ни} + \frac{\delta_{yc}}{\lambda_{yc}}.$$

Подставив числовые значения, получим:

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

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

$$\text{ - для зоны } IIIR_{зони} = 8,6 + 0,983 = 9,58^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}.$$

Теплопотери через ограждения составят:

$$R_{огр} = \left(\frac{412}{1,86} + \frac{1540}{2,5} + \frac{372}{3,1} + \frac{340}{5,28} + \frac{528}{9,58} + \frac{59}{0,345} + \frac{28}{0,58} + \frac{30}{0,58} \right) \cdot [10 - (-30)] \cdot 10^{-3} = 54,0 \text{ кВт}.$$

4.3 Расчет теплопотерь на испарение со смоченных поверхностей

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

где $\omega_{исп}^{см} = 11 \text{ г/ч} \cdot \text{м}^2$ – интенсивность испарения при $t_e = +10^{\circ}\text{C}$ и $\varphi_e = 75\%$;

$F_{см} = 400 \text{ м}^2$ – площадь смоченных поверхностей.

$F_{кон} = 520 \text{ м}^2$ – площадь открытых поверхностей навозных каналов.

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

4.4 Расчет теплопотерь на подогрев приточного воздуха

Тепло на подогрев приточного воздуха определяем по выражению:

$$Q_{ув} = 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot G_e \cdot (t_e - t_n)$$

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 ($\text{м}^3/\text{ч}.$), необходимый для понижения концентрации углекислоты, вычисляют по формуле:

$$Q_{CO_2} = \frac{c \times n}{(c_1 - c_2)},$$

где: c – количество CO_2 , выделяемое одним животным, табл. П1, л/ч.;

n – число животных в помещении, гол;

c_1 – предельно допустимая концентрация CO_2 в воздухе помещения, л/м³;

c_2 – концентрация CO_2 в наружном воздухе, л/м³.

$c = 142 \text{ л / ч.}$, $c_1 = 2,5 \text{ л / м}^3$, для сельской местности $C_2 = 0,3 \dots 0,4 \text{ л/м}^3$

принимаем $c_2 = 0,3 \text{ л/м}^3$, $n = 200 \text{ гол}.$

Подставляя эти значения, получим $12900 \text{ м}^3/\text{ч}.$

Расчет по предельной концентрации паров воды.

Расчет требуемого воздухообмена по предельной концентрации водяных паров

$$G_{\text{в}} = \frac{\omega_{\text{ж}} + \omega_{\text{исп}}}{\varphi_{\text{в}} d_{\text{в}} - d_{\text{н}}},$$

$G_{\text{в}}$ – количество приточного воздуха, кг/ч.

$\omega_{\text{исп}}$ – количество влаги испаряемой со открытых поверхностей, г/ч;

$\omega_{\text{ж}}$ – влаговыделения животных, г/ч;

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

$$\omega_{\text{исп}} = \omega_{\text{исп}}^{\text{см}} \cdot F_{\text{см}},$$

$$\omega_{\text{исп}} = 11 \cdot (520 + 400) = 10120 \text{ г/ч},$$

$$\omega_{\text{ж}} = n \cdot \omega_{\text{ж}}^{\text{о}} \cdot k_t,$$

$$\omega_{\text{ж}} = 200 \cdot 550 \cdot 1.00 = 110000 \text{ г/ч}$$

Влагосодержание наружного воздуха при расчетной температуре для систем вентиляции $t_{\text{в}}$ 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:

$$d_{\text{н}}^I = 0,00413 \cdot t_{\text{н}}^2 + 0.27575 \cdot t_{\text{н}} + 4.8439, \text{ мБ}$$

В инженерных расчетах абсолютную влажность воздуха выражают в г/м^3 , следовательно, формула примет вид:

$$d_{\text{н}} = \frac{220}{t_{\text{н}} + 273} \cdot [4.13 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{н}}^2 + 0.27575 \cdot t_{\text{н}} + 4.8439], \frac{\text{г}}{\text{м}^3}.$$

Тогда:

$$G_{\text{в}} = \frac{110000 + 10120}{0.75 \cdot 9,4 - 0,26} = 17690 \text{ кг/ч}.$$

.....
 Проверка расчета подачи воздуха.

Проверяют по кратности воздухообмена:

$$K = \frac{Q}{V_{\text{п}}},$$

где: Q - расчетный воздухообмен, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$V_{\text{п}}$ - объем помещения, м^3 .

$$V_{\text{п}} = 78 \cdot 21 \cdot 3.8 = 6224 \text{ м}^3.$$

$$Q = 14097 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$K = 17690 / 6224 = 2.84,$$

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

Мощность, необходимая на подогрев приточного воздуха:

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

Определяем дефицит тепла:

$$Q_0 = 197 + 47 + 7 - 169 = 82 \text{ кВт.}$$

Расчет величины инфильтрующегося воздуха.

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

$$G_{инф} = \sum G_{иц} \cdot l \cdot \alpha.$$

Принимаем:

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

$\alpha = 2$ – для ворот.

Определяем длину щелей притворов:

- периметр окон составляет:

$$l_1 = (1,3 + 1,0 + 1,3 + 1,0) \cdot 45 = 207 \text{ м.}$$

- периметр дверей составляет:

$$l_2 = (1220 + 2080 + 1220 + 2080) \cdot 1 = 79,2 \text{ м.}$$

- периметр ворот составляет:

$$l_3 = (2600 + 2700 + 2600 + 2700 + 2700) \cdot 4 = 53,2 \text{ м.}$$

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

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

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

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

Общее количество инфильтрующегося воздуха:

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

4.5. Определение мощности калориферов для подогрева подаваемого воздуха

Количество воздуха, которое должно подаваться в помещение приточной вентиляцией:

$$G_{прв} = G_0 - G_{инф} = 17690 - 4125 = 13565 \text{ кг/ч.}$$

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

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

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

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

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

Определяем среднюю наружную температуру отопительного периода:

$$t_{н.ср} = \frac{\sum t_{н}^i \cdot \tau_{тн}^i}{T(t_{н})} = \frac{\sum (-47 \cdot 0,262) + (-46 \cdot 0,375) + (-45 \cdot 0,531) + \dots}{1932} = -19,96 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

где: $\tau(t_{н})$ – время стояния температуры наружного $t_{н}$ 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 $t_{н}$ воздуха $\tau(t_{н})$ в часах (температура воздуха/длительность стояния, Омск)

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

Продолжительность стояния температуры для региона Западной Сибири ($\Delta Z_{t_{н}}$) наружного воздуха может быть с достаточной точностью описана нормальным распределением (для периода времени с октября по март).

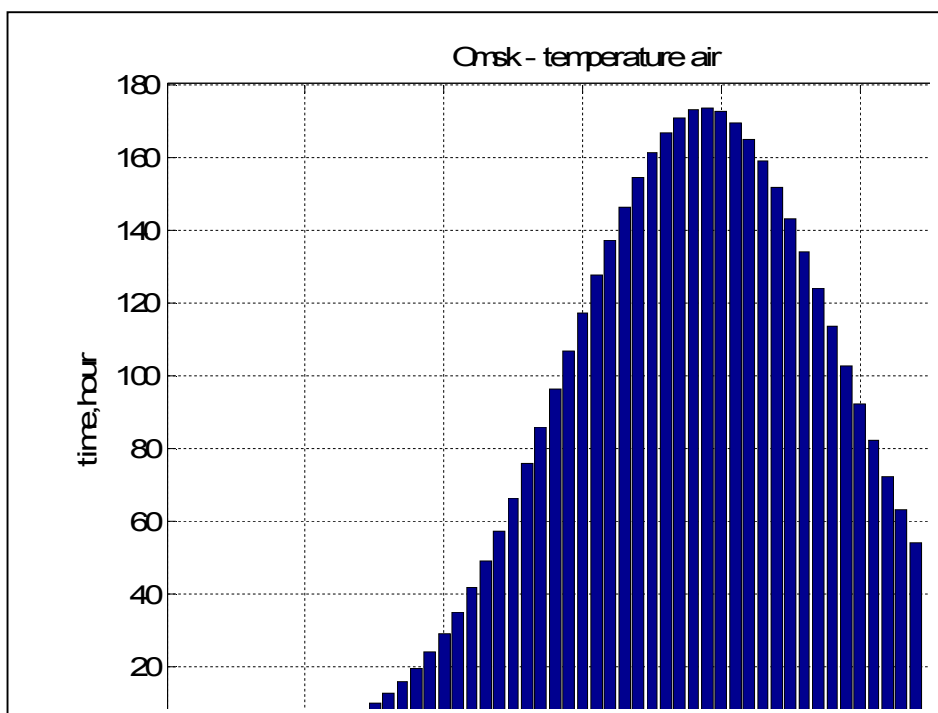


Рисунок 2 – Распределение длительности стояния температуры наружного воздуха для Омской области

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

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

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

$$A = Q_{cp} \cdot T(t_n)$$

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),

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

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

Следовательно, годовой расход тепловой энергии на подогрев воздуха составит:

$$\text{Эт} = 44,4 \cdot 1932 = 85781 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

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

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

Суммарное потребление электроэнергии вентиляционно-отопительными установками будет $\text{Э} = \text{Эт} + \text{Эп} = 85781 + 8500 = 94281, \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$

4.7 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.

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

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

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

$R_n = 2,5^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$ – 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;

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

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

$t_{в} = 15^{\circ}\text{C}, \varphi_{в} = 85 \%, d_{в} = 9 \text{ г/кг}$ – температура, влажность и влагосодержание внутреннего воздуха;

$t_{н} = -30^{\circ}\text{C}, \varphi_{н} = 85 \%, d_{н} = 0,2 \text{ г/кг}$ – температура, влажность и влагосодержание наружного воздуха;

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

$$Q_{огр} = \left(\frac{F_{cm}}{R_{cm}} + \frac{F_n}{R_n} + \frac{F_{зон1}}{R_{зон1}} + \frac{F_{зон2}}{R_{зон2}} + \frac{F_{зон3}}{R_{зон3}} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} \right) \cdot K_t \cdot (t_g - t_n) = \left(\frac{110.1}{1.86} + \frac{288}{2.5} + \frac{132}{2.58} + \frac{64}{4.73} + \frac{96}{9.03} + \frac{19.5}{0.345} \right) \cdot 1.2 \cdot [15 - (-30)] = 16,53 \text{ кВт}.$$

Определяем необходимый воздухообмен молочного блока:

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

Количество влаги испаряющейся со смоченных поверхностей двух моечных:

$$W_{cm} = 2(F_{cm} \cdot W_{исп}^{cm}),$$

где $F_{cm} = 2 \cdot (6 \cdot 3) = 36 \text{ м}^2$ – площадь смоченной поверхности двух моечных;

$$W_{исп}^{cm} = 75 \text{ г/ч} \cdot \text{м}^2 \text{ – удельные влагопоступления.}$$

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

Определяем мощность нагревателя для подогрева приточного воздуха:

$$Q_{нв} = c \cdot G_g \cdot (t_g - t_n) \cdot 10^{-3} = 0,278 \cdot 306 \cdot [15 - (-30)] \cdot 10^{-3} = 3,83 \text{ кВт}.$$

Определяем мощность системы обеспечения искусственного микроклимата молочного блока:

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

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:

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

Годовой расход энергии на обогрев и вентиляцию молочного блока составит:

$$Э_m = 12,2 \cdot 5280 = 64160 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Расход на горячее водоснабжение (ГВС) определяем исходя из норм потребления по упрощенной методики. В помещении установлен водонагреватель-термос ВЭТ-400 с установленной мощностью 10,5 кВт. Суточное потребление 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 температура-влажностного режима основного, вспомогательного блока и ГВС (без учета электроприводу вентиляционных установок составит)

$$A_{год} = 85781 + 64160 + 35000 = 184941 \text{ кВт}\cdot\text{час}$$

4.8 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:

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

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,

$Z = \sum \zeta \cdot P_{д}$ – потеря давления в местных сопротивлениях участка воздуховода, Па,

ζ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке,

$$P_{д} = \frac{v^2 \cdot \rho}{2} \text{ – динамическое давление потока воздуха, Па,}$$

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

ρ – плотность воздуха, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$,

$P_{д.вых}$ – динамическое давление на выходе из сети, Па,

P_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: $R_1 = 3.5 \text{ Па/м}$;

- динамическое давление потока воздуха: $P_{д1} = 56.8 \text{ Па}$ (при $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$, табл. П5). Фактическая плотность приточного воздуха, температура которого 4°C , $\rho = 1,245 \text{ кг/м}^3$.

Поэтому:

$$P_{\text{в1}} = 56.8 \cdot \frac{1,245}{1,2} = 58.9 \text{ Па}$$

Вычислим значение R_1 :

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

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 воздухо-
вода по формуле:

$$Z = \Sigma \zeta \cdot P_{\text{д}},$$

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

Определим суммарные потери давления $R_1 + Z$ по участкам и для всей рас-
считываемой ветви вентиляционной сети ($\Sigma(R_1 + Z)$).

Расчетные данные заносим в таблицу 4.

Таблица 4- Расчета системы вентиляции

№ участка	Q, м³/ч	l, м	v, м/с	d, мм	R, Па/м	R·l, Па	Σζ	P _д , 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
									Σ(R·l+Z)	712

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

$$P_{\text{д.ВЫХ}} = 6^2 \cdot \frac{1.22}{2} = 21.96 \text{ Па.}$$

Сопротивление калорифера СФО-60/05 $P_{\text{к}}=120 \text{ Па}$,

Находим полное давление, которое должен развивать вентилятор:

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

$$Q_{\text{в}}=6780 \text{ } P_{\text{в}}= 854\text{Па, } v= 7.4 \text{ м/с}$$

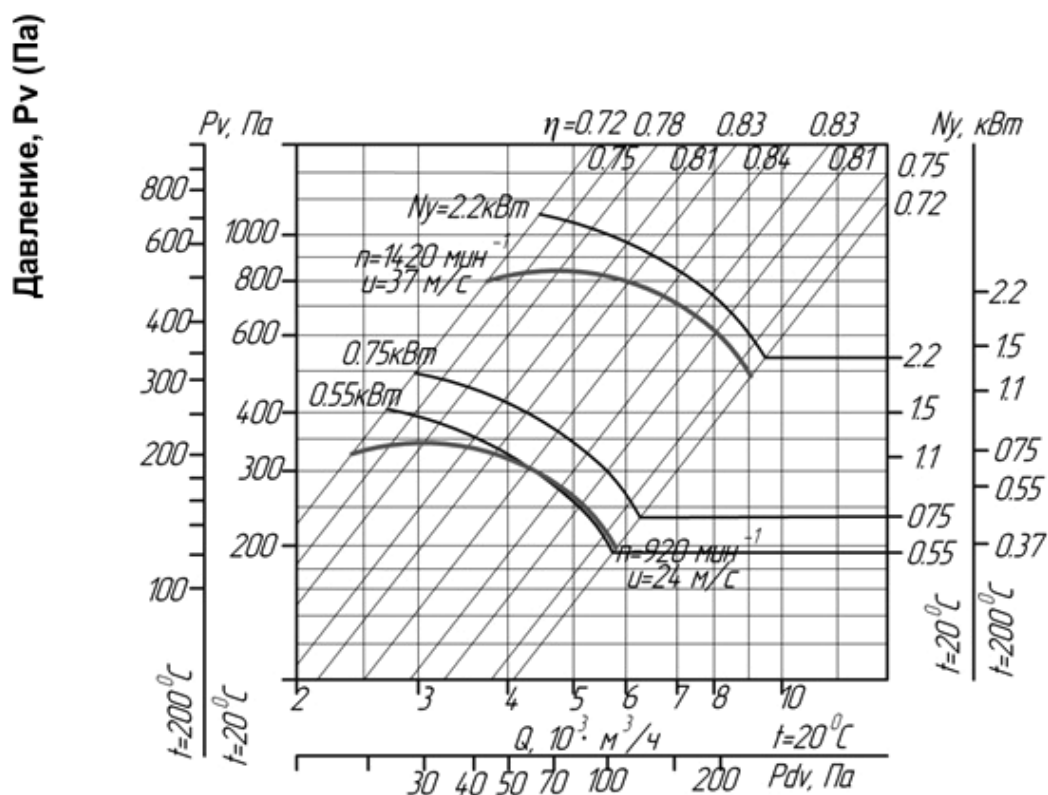
выбираем вентилятор марки Ц4-70 №6 , $\eta_{\text{в}}=0.78$.

Мощность двигателя, кВт:

$$P_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot P_{\text{в}}}{3.6 \cdot 10^6 \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{н}}}$$

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 2 – Номограмма для определение параметров ВОУ

Таблица 5-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
1	2	3	4	5	6	7	8
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

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8
Производительность по воздуху, м³/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	1550x920x1100	1550x920x1100	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.

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. Приказ Министерства экономического развития РФ от 4.06.2010 г. № 229 «О требованиях энергетической эффективности товаров, используемых для создания элементов конструкций зданий, строений, сооружений, в том числе инженерных систем ресурсоснабжения, влияющую на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений».
5. Сборник нормативно-правовых документов по энергосбережению и энергоэффективности, часть 1. – М.:ФГБУ ИПК Минобрнауки России, 2013, - с.230
6. Сборник нормативно-правовых документов по энергосбережению и энергоэффективности, часть 2. – М.:ФГБУ ИПК Минобрнауки России, 2013, - с.214
7. Сборник нормативно-правовых документов по энергосбережению и энергоэффективности, часть 3. – М.:ФГБУ ИПК Минобрнауки России, 2013, - с.284
8. Сборник нормативно-правовых документов по энергосбережению и энергоэффективности, часть 4. – М.:ФГБУ ИПК Минобрнауки России, 2013, - с.184
9. ГОСТ Р 51379—99 Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы
10. ГОСТ Р 51380—99 Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям. Общие требования.
11. ГОСТ Р 51541—99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.

12. ГОСТ Р 51388—99 Энергосбережение. Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения. Общие требования.
13. ГОСТ Р 5187-99 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения.
14. Ляпин В.Г. Проектирование и энергоаудит электрического освещения. Учебное пособие/Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск, 2001. – 230 с.
15. Ляпин В.Г. Проектирование и энергоаудит электрического нагрева и специальных видов электротехнологий. Учебное пособие/Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск, 2007. – 130 с.
16. Ляпин В.Г. Электрическое освещение и облучение. Лабораторный практикум/Новосиб. гос. аграр. ун-т; Сост.: В.Г. Ляпин. Новосибирск, 2007. – 114 с.
17. Ляпин В.Г. Электрический нагрев. Лабораторный практикум/Новосиб. гос. аграр. ун-т; Сост.: В.Г. Ляпин. Новосибирск, 2007. – 96 с.
18. 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.
19. Светотехника и электротехнология /Л.А. Баранов, В.А. Захаров. – М.: КолосС, 2008. – 344 с. (базовый).
20. Современные энергосберегающие электротехнологии/Ю.И. Блинов, А.С. Васильев, А.Н. Никаноров и др. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2000. – 548 с.
21. Электротехнология/В.А. Карасенко и др. – М.: Колос, 1992. – 304 с.
22. Электротехнология/А.М. Басов и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
23. Афанасьева Е.И., Скобелев В.М. Источники света и пускорегулирующая аппаратура. –М.: Энергоатомиздат, 1986. 272 с.
24. Баев В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению. – М.: Агропромиздат, 1991. – 152 с.
25. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп/А.Е. Краснопольский, В.Б. Соколов, А.М. Троицкий. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
26. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для студентов вузов. – М.: Логос, 1999. – 480 с.
27. Кунгс Я.А., Цугленок Н.В. Практикум по электротехнологическому освещению и облучению: Учеб. пособие/Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 1998. – 233 с.

28. 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.
29. Айзенберг Ю.Б. Основы конструирования световых приборов: Учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1996. – 704 с.
30. 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.
31. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология энергосбережения: учебник /2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФОРУМ, 2010.- 352 с.
32. Энергосбережение в ЖКХ: Учебное – практическое пособие / под ред. Л.В. Примака, Л.Н. Чернышовой. – М.: Академический проект; АльмаМатер, 2011.- 622 с.
33. Аратюнян А.В. Основы энергосбережения. - М.: ОАО «Энергосбережение», 2007.- 600 с.
34. Беляев Е.И., Зиновьев Ю.В. Энергоаудит для подготовки энергетического паспорта: Учебное пособие. - Раменское: ИПК ТЭК, 2012- 52 с.
35. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Экологические проблемы использования топлива. - Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс. 2004 г. - 109 с.
36. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энергосбережение для всех. - Екатеринбург: Энерго-Пресс. 2009 г. - 132 с.
37. Данилов Н.И., Щелоков Я.М., Лисиенко В.Г. Развитие энергоэффективных технологий и техники. - Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс. 2004 г. - 144 с.
38. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Основы энергосбережения: учебник /под ред. Н.И. Данилова. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2010. 564 с.
39. Зиновьев Ю.В., Рагуткин А.В., Лазарева Т.К. Энергетическое обследование (энергоаудит) в условиях саморегулирования: Учебное пособие. - Раменское: ИПК ТЭК , 2011.-28 с.
40. Лукашевич О.Д., Колбек М.В. Энергосбережение: социально-экологический проект: Учебно-методическое пособие. – Томск : Том. гос. архит.-строит. ун-т. – 2009. – 40 с.
41. Методические рекомендации по проведению энергетического обследования: Пособие для начинающих аудиторов/ под ред. Мукаева А.И..- Раменское: ИПК ТЭК, 2012.- 37 с.
42. Мукаев А.И. Управление энергосбережением и повышение энергетической эффективности в организациях и учреждениях бюджетной сферы: Практическое пособие. - Раменское: ИПК ТЭК , 2011.-256 с.

43. Самойлов М.В., Паневчик В.В., Ковалев А.Н. Основы энергосбережения: Учеб.пособие. – Мн.: БГЭУ, 2012. – 198 с.
44. Тепло– и холодоустойчивость животных. Эколого–генетическая природа различий/ Отв.ред. Ю.О. Раушенбах// АН СССР. Сиб.отд–ние. – Новосибирск: Наука,1975. – 354 с.
45. 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.
46. Пчелкин, Ю.Н. Методические рекомендации по расчету теплопотребления на обеспечения микроклимата животноводческих помещений/ Ю.Н. Пчелкин. – Запорожье,1979. – 29 с.
47. 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.
48. Захаров А.А. Практикум по применению теплоты в сельском хозяйстве. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1985. - 175с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Тема №1 Введение в энергосберегающие электротехнологии и энергоаудит.....	4
Тема 2 Основы теории и расчета электронагревательных устройств.....	5
Тема 3. Электронагрев сопротивлением.....	6
Тема 4. Электродный и индукционный нагрев.....	7
Тема 5. Инфракрасный и диэлектрический нагрев.....	9
Тема 6. Электронагревательные установки сельскохозяйственного назначения.....	9
Тема 6. Электротехнологии в АПК.....	10
Тема 7. Энергосбережение в технологических процессах АПК.....	12
Тема №8. Энергоаудит.....	13
2. Задание к контрольной работе по энергосберегающим электротехнологиям и энергоаудиту.....	16
3. Пример расчета параметров систем обеспечения температурно-влажностного режима животноводческого помещения.....	17
3.1 Формирование исходных данных по расчету системы обеспечения температурно-влажностного режима помещений.....	17
4. Определение установленной мощности и расхода энергии системами отопления и горячего водоснабжения (типовое помещение-коровник на 200 голов).....	18
4.1. Уравнение теплового баланса животноводческого помещений.....	18
4.2 Расчет теплопотерь через ограждения.....	19
4.3 Расчет теплопотерь на испарение со смоченных поверхностей.....	21
4.4 Расчет теплопотерь на подогрев приточного воздуха.....	21
4.5. Определение мощности калориферов для подогрева подаваемого воздуха.....	23
4.6 Расчет объемов потребления энергии системами обеспечения нормируемого температурно-влажностного режима помещений.....	24
4.7 Расчет параметров температурно-влажностного режима вспомогательных помещений.....	26
4.8 Подбор вентилятора и выбор мощности электродвигателя	28
Список рекомендованной литературы.....	31
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	32
Приложение	37

Приложение

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

Производственная группа животных	Живая масса жи- вотных, кг	Водяные пары, г/ч	Углекислота (CO ₂), л/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	49,3
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 птицей

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 ко- ричневых кроссов:					
а) промышленного стада	1,5 - 1,7	1,54	24,6 (5,88)	35,7 (8,53)	4,50
б) родительского и праро- дительского стада	1,6 - 1,7	1,54	24,6 (5,88)	36,7 (8,53)	4,50
Куры мясных пород (на по- лу)	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 яич- ных 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

Вид и возрастная группа птицы	Живая масса птицы, кг	Углекислота, л/ч	Тепло кДж/ч (ккал/ч)		Водяные пары, г/ч
			свободное	общее	
б) на мясо в возрасте, не- дель:					
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:					
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, не- дель:					
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

Вид и возрастная группа птицы	Живая масса птицы, кг	Углекислота, л/ч	Тепло кДж/ч (ккал/ч)		Водяные пары, г/ч
			свободное	общее	
б) на мясо в возрасте, не- дель:					
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
10 - 34	3,8 - 4,0	0,78	10,9 (2,60)	18,23 (4,36)	3,00
б) на мясо в возрасте, не- дель:					
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			ПДК CO ₂ %	ПДК 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	75	0,2	0,3	0,5	0,15	10	5

		(14-18)	(40-75)						
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 не- тели	12 (8-16)	75 (40-85)	0,3	0,5	0,25	20	10	
	Бычки на от- корме	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	$t_{нх}$	$t_{нжс}$	$t_{ни}$	V_x	$V_{ж}$	Φ_x	$\Phi_{ж}$	$\Phi_{ср}$
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 (R_0) и коэффициенты теплопередачи (K) некоторых строительных ограждений (с внутренней штукатуркой)

Конструкция стен	Толщина		Объемная масса, кг/м	R_0 , (ч·м ² -°C)/	К, ккал/ч·м ² ·°C
	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 легкобетонных камней с перевязкой тычковыми рядами	1,0	405	1800	0,78	1,78
	1,5	605	1800	1,10	0,91
из легкобетонных 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_o) и коэффициенты теплопередачи (K) для не утепленных полов

Зоны	Зоны, размещенные от наружных стен на расстояние	R_o	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_o) и коэффициенты теплопередачи (K) для окон и дверей

Конструкции заполнения проема	Расстояние между стеклами, мм	R_o	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 воз- духа, кг/м ³	Влагосодержан- ие воздуха в на- сыщенном со- стоянии, г/м ³	Температура , °С	Плотность сухого воздуха, кг/м ³	Содержание влаги в воз- духе в насы- щенном со- стоянии, 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			

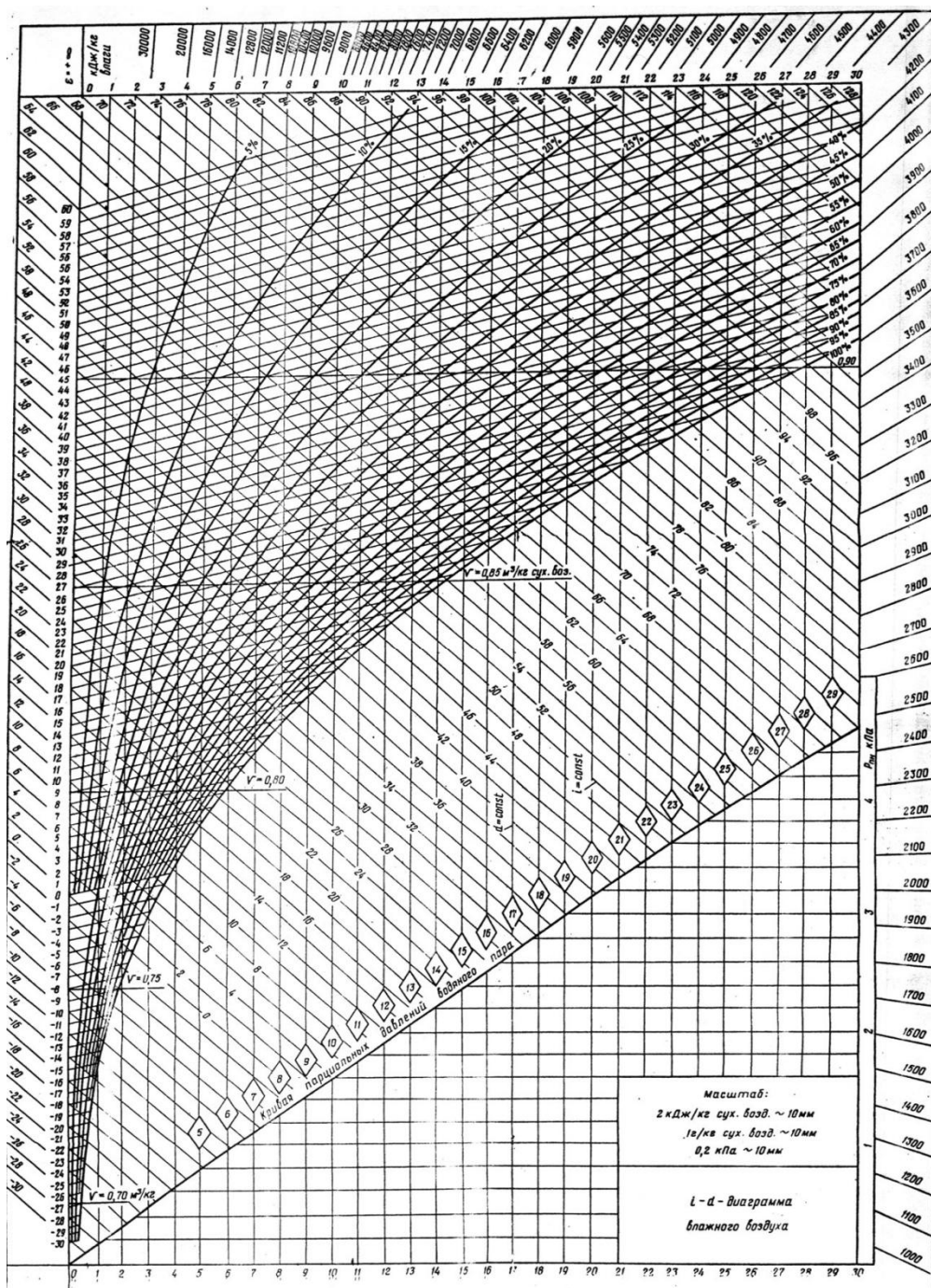


Рисунок П1- *I-d* диаграмма воздуха,[7]

Составитель:
Делягин Валерий Николаевич

Энергосберегающие электротехнологии и энергоаудит

Методические указания
по самостоятельной и контрольной работы

Редактор *М.Г. Девищенко*
Компьютерная верстка *В.Н. Зенина*

Подано в печать «__» _____ 2018 г. Формат 60x84 ¹/₁₆
Объем 3,1 уч.-изд. л., 3,01 усл. печ. л.
Тираж 10 экз. Изд №__ Заказ __

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, кааб. 106.

Тел./факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru