

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И
ЭНЕРГОАУДИТ**

**Методические указания к лабораторно-практическим
работам**

Новосибирск 2017

УДК 620.9:338+631.371

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 для выполнения лабораторно-практических работ / Новосиб. гос. агр. ун-т; Инженер. ин-т; сост.: В.Н. Делягин. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2017. – 103 с.

Содержат методические указания к лабораторным работам по курсу данной дисциплины, вопросы для самоподготовки, указания по выбору варианта работы и пример выполнения, список рекомендованной литературы и приложения.

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.).

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1-Исследование динамики нагрева тел с использованием методов имитационного моделирования.....	11
2. Лабораторная работа №2- Определение термического сопротивления ограждающих конструкций с использованием методов тепловизионного обследования.....	19
3. Лабораторная работа №3 - Исследование динамики индукционного нагрева с использованием имитационного моделирования.....	29
4. Лабораторная работа №4 - Исследование динамики диэлектрического нагрева с использованием имитационного моделирования.....	39
5.Лабораторная работа №5 Исследование электрообогревательной панели.....	45
6.Лабораторная работа № 6 - Энергоаудит производственного здания.....	49
7.Лабораторная работа №7- Изучение приборов и систем учета тепловой энергии.....	77

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Энергосберегающие электротехнологии и энергоаудит. Методические указания к лабораторным работам» содержит в себе разделы электрический нагрев, электротехнологии а также рациональное энергосбережение тепловой и электрической энергии. При подготовки материалов были использованы литературные источники [19]-[51].

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 экономическую эффективность технологических процессов;
- пропагандировать идеи энергосбережения.

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.

Электротермические установки (ЭТУ) классифицируют по роду тока, частоте, способам теплопередачи, технологическому назначению, способу превращения электрической энергии в тепловую (табл. 1.1).

Таблица 1.1–Классификация электротермических установок по способу превращения электрической энергии в тепловую

Способ нагрева	Механизм преобразования энергии
Сопротивлением (прямой и косвенный)	Электрическая энергия превращается в тепловую при протекании тока через проводящие материалы
Электрической дугой	Электрическая энергия превращается в тепловую в дуговом разряде
В переменном магнитном поле (индукционный)	Электрическая энергия превращается в энергию переменного магнитного поля, а затем в тепловую в проводящих материалах, помещенных в это поле
В переменном электрическом поле (диэлектрический)	Электрическая энергия превращается в энергию переменного электрического поля, а затем в тепловую в диэлектриках и полупроводящих материалах, помещенных в это поле
Электронным пучком	Электрическая энергия превращается в энергию электронного пучка, а затем в тепловую в телах, бомбардируемых электронами пучка
Квантами (инфракрасный и лазерный)	Электрическая энергия превращается в лучистую, а затем в тепловую в телах, на которые падает лучистый поток

Электрические нагреватели совмещают функции приемников электрического тока и источников тепла и характеризуются электрическими и тепловыми параметрами.

Закон Ома для тепловой цепи выражается формулой

$$P_{уд} = \frac{\Delta t}{R_t}, \quad (1.1)$$

где $P_{уд}$ –удельная мощность, Вт/м²; Δt – разность температур на поверхностях стенки нагревателя, °С; R_t – тепловое сопротивление, зависящее от геометрических размеров нагревателя, °С/Вт.

Мощность, выделяемая в нагревателе, определяется формулой закона Ленца-Джоуля, Вт

$$P = I^2 \cdot \rho_t \cdot \frac{L}{S}, \quad (1.2)$$

где I – рабочий ток нагревателя, А; ρ_t – удельное сопротивление материала; Ом·м; L – длина нагревателя, м; S – сечение, м².

Совместное решение уравнений (1.1) и (1.2) позволяет определить геометрические размеры нагревателя.

1 Тепловой расчет

В задачу теплового расчета входит:

- определение мощности ЭНУ и их количество;

- определение массы нагреваемого вещества (объема), габаритных размеров установки или требуемой поверхности нагрева;
- расчет теплоаккумуляции и теплоизоляции;
- определение времени нагрева (сушки), скорости нагрева.

1.1 Определение мощности ЭНУ

Расчетная мощность ЭНУ в общем случае определяется как

$$P_{\text{ЭНУ}} = P_{\text{пол}} + \sum \Delta P = \frac{\Delta P}{\eta_t}, \quad (1.3)$$

где $P_{\text{пол}}$ – полезная мощность, Вт; $\sum \Delta P$ – сумма потерь мощности в окружающую среду, на нагрев конструкций, потери в подводящих проводах и т.п., Вт; η_t – к.п.д. тепловой установки.

Полезную мощность определяют одним из следующих способов.

При условии задания температурного режима

$$P_{\text{пол}} = \frac{m(c\Delta t + a)}{\tau}, \quad (1.4)$$

где m – масса нагреваемого материала, кг; c – удельная теплоемкость материала, Дж/кг $^{\circ}$ С; Δt – разность температур нагреваемого материала, $^{\circ}$ С; a – скрытая теплота фазового превращения (плавления или испарения), Дж/кг; τ – время нагрева, с.

Если мощность не расходуется на изменение агрегатного состояния, $a = 0$.

Мощность электронагревателей воздуха при сушке определяется как

$$P_{\text{пол}} = \frac{L \cdot (J_1 - J_0)}{3600 \cdot \eta}, \quad (1.5)$$

где L – часовой расход воздуха, кг/ч; J_1 и J_0 – теплосодержание воздуха, до его нагрева и после, Дж/кг. Определяется по J-d диаграмме влажного воздуха.

$$L = \frac{W \cdot 10^3}{d_2 - d_1}, \quad (1.6)$$

где W – количество испаряемой влаги, кг/ч; d_2, d_1 – влагосодержание воздуха вначале и конце сушки, г/кг.

$$W = \Pi \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2}, \quad (1.7)$$

где Π – производительность установки, кг/ч; w_1, w_2 – относительная влажность материала до и после сушки, %.

Приближенным методом полезную мощность можно определить по упрощенным формулам. Например, потребную мощность для покрытия тепловых потерь культивационного помещения можно определить по формуле

$$P_{пол} = \kappa F(t_{вн} - t_{н}), \quad (1.8)$$

где κ – приведенный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C). $\kappa = 7,7$ для остекленной теплицы и 5 – для парника. F – остекленная поверхность, м². Для стандартного 20 рамного парника $F = 32.2$ м², $t_{вн}, t_{н}$ – внутренняя и наружная температуры, °C.

Более точно мощность ЭНУ определяется инженерным методом по уравнению теплового баланса, которое для животноводческих помещений имеет вид

$$P_{пол} = P_{огр} + P_{вент} + P_{исп} - P_{жс}, \quad (1.9)$$

где $P_{огр}, P_{вент}, P_{исп}, P_{жс}$ – теплотери через ограждающие конструкции, с вентиляцией, на испарение влаги, выделяемые животными, кВт.

1.3 Определение потерь теплоты

Простейшие формулы для определения потерь приводятся в таблице 1.2.

Теплообмен	Формула
• теплопроводностью	$\Delta P = \frac{\Delta t \cdot F}{R_t}$
через однослойную стенку	$R_t = \frac{\delta}{\lambda}$
через цилиндрическую поверхность	$R_t = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_{нар}}{d_{вн}}$
конвекцией	$\Delta P = \alpha \cdot F \cdot \Delta t$
• лучеиспусканием	$\Delta P = 5,7 \cdot c_{\lambda} \left(\frac{T}{100} \right)^4 \cdot F$

В таблице R_t – термическое сопротивление, °C/Вт; δ – толщина материала, м; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·°C; c_{λ} – коэффициент лучеиспускания от серого тела, Вт/м²·K⁴; T – температура тела, °K.

1.4 Определение времени и скорости нагрева

Время нагрева в процессах тепловой обработки сельскохозяйственных продуктов и кормов (сушка зерна, пастеризация молока, запаривание кормов и т.п.) ограничивают во избежании порчи нагреваемых материалов. Так для сушки зерна допустимая скорость испарения влаги не должна превышать значения, определяемого формулой

$$\frac{\Delta w}{\Delta \tau} = \frac{w_H - w_K}{324(w_H - w_K - 3) \cdot (100 - w_K)}, \quad (1.10)$$

где w_n , w_k – начальная и конечная влажности, %.

Скорость нагрева материала можно определить по формуле

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{P_{уд} \cdot \eta_m}{\gamma \cdot c}, \quad (1.11)$$

где $P_{уд}$ – удельная мощность, подводимая к нагреваемому материалу, Вт/м³; γ – плотность материала, кг/м³; η_m – термический к.п.д.; c – теплоемкость материала, Дж/кг·°С.

2 Электрический расчет

Электрический расчет заключается в выборе питающего напряжения и частоты тока, в разработке электрической схемы и способа регулирования мощности. При расчете нагревателей задача сводится к определению их геометрических размеров.

Напряжение питания установки выбирают исходя из мощности, назначения установки и условий ее эксплуатации. Чаще всего это напряжение 380/220 В, но в помещениях с повышенной опасностью обслуживания (особо сырые помещения, установки с открытыми нагревателями и др.) применяется пониженное напряжение от 12 до 36 В.

Для регулирования мощности нагревателя используют три способа:

- изменяют напряжение индукционными регуляторами, тиристорами, магнитными усилителями или другими техническими средствами;
- переключают нагреватели с фазного напряжения на линейное и обратно;
- изменяют число включенных нагревателей или схему их включения. Для этого в каждой фазе предусматривается несколько секций, которые можно включить последовательно, параллельно, последовательно-параллельно и т.д. Смотри таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Изменение мощности нагревательной установки при различных схемах включения ТЭНов

Схема включения элементов	Число нагревателей	Мощность, кВт
Двойной треугольник	6	36
Треугольник	3	18
Двойная звезда	6	12
Последовательный треугольник	6	9
Звезда	3	6
Последовательная звезда-треугольник	6	4,5
Последовательная звезда	6	3

Электрические расчеты нагревателей сопротивления

Методика расчета электродных нагревателей.

К основным параметрам электродных нагревателей относятся: число фаз, количество электродов, расстояние между ними.

Характер работы нагревателей в проточных и непроточных аппаратах одинаково, поэтому расчет их можно вести по единой методике.

Расчет ведется на одну пару электродов.

1. Определяется $P_{\text{нп}}$.
2. Определяется мощность на одну пару электродов.
3. Определяется пределы изменения мощности, т.е. начальная $P_{\text{н}}$ и конечная $P_{\text{к}}$; мощность для любой температуры P_t определяется по формуле, Вт.

$$P_t = \frac{U^2}{R_t} = \frac{U^2 \cdot h}{K \cdot \rho_t} \quad (1.12)$$

где h - длина электрода, м. Этой величиной задаются. Если ширина окажется несоразмерной, расчет повторяют при новой h ;

K – геометрический коэффициент.

ρ_t - удельное сопротивление нагреваемого материала, для определенной температуры, Ом·м;

$$\rho_t = \frac{\rho_{20} \cdot 40}{20 + t} \quad (1.13)$$

где ρ_{20} – удельное сопротивление при температуре 20 °С. Для воды из реки Енисей. $\rho_{20}=50(\text{Ом}\cdot\text{м})$

t – температура материала, °С.

Если известно время нагрева T , то $P_{\text{к}}$ можно определить как, Вт

$$P_{\text{к}} = P_{\text{н}} \cdot e^{\frac{\tau}{T}} \quad (1.14)$$

где T – постоянная времени нагрева, с:

$$\tau = \frac{40 \cdot m \cdot c \cdot k \cdot \rho_{20}}{U^2 \cdot h \cdot \eta_{\text{ф}}} \quad (1.15)$$

Расчет размеров электродов и выбор пускорегулирующей аппаратуры производится по максимальной мощности в конце нагрева ($P_{\text{к}}$).

4. Определяется максимальная допустимая площадь электродов, м^2 .

$$F_{\text{max}} = \frac{I_{\text{к}}}{j_{\text{доп}}} \quad (1.16)$$

где $I_{\text{к}}$ - сила тока в конце нагрева, А;

$j_{\text{доп}}$ - допустимая плотность ток, $\text{А}/\text{м}^2$. Определяется по рис. 1.1 или по эмпирической зависимости:

$$J_{\partial on} = \frac{16 \cdot 10^3}{\sqrt{\rho_K}} \quad (1.17)$$

где ρ_K – удельное сопротивление в конце нагрева, Ом*м.

5. По найденному значению площади электродов определяют геометрические размеры электродов, учитывая величину h .

6. Минимальное расстояние между электродами определяется как, м.

$$l_{\min} = \frac{U}{E_K} \quad (1.18)$$

где E_K – напряженность поля в конце нагрева. В/м.

$$E_K = j_K \cdot \rho_K = \frac{K_H \cdot I_K \cdot \rho_K}{F} \quad (1.19)$$

где K_H – коэффициент, учитывающий неравномерность плотности тока по поверхности электрода. $K_H = 1, 1, \dots, 1, 4$.

7. Полученное значение напряженности E_K для данного удельного сопротивления горячего материала не должно превышать допустимой напряженности E_K .

При определении мощности нагревателя в режиме кипения следует учитывать удельное сопротивление пароводяной смеси, Ом*м.

$$\rho_{кип} = \rho_{\partial on} \cdot \beta \quad (1.20)$$

где β – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления воды за счет пузырьков воздуха.

$$B = 0,925 \cdot e^{1,5 \cdot j_K} \quad (1.21)$$

Методика расчета нагревательных элементов на базе ТЭНов промышленного изготовления:

1. Определяется $P_{\text{эну}}$.
2. Определяется мощность на фазу $P_{\text{ф}}$.
3. В соответствии с условиями среды, $P_{\text{ф}}$ и $U_{\text{ф}}$ выбирается по каталогам соответствующий ТЭН.

4. Проверяется возможность монтажа ТЭНа в корпусе нагревательной установи. Если не удастся выбрать ТЭН можно взять несколько ТЭНов, чтобы подобрать нужную мощность на фазу.

5. По развернутой длине ТЭНа определяется его активная поверхность F_a .

6. Требуемая поверхность нагрева определяется из теплового расчета.

7. Сравнивается активная поверхность выбранного ТЭНа с требуемой.

Если условие $F_a > F_{\text{тр}}$ не выполняется, подбирают другой ТЭН.

Методика расчета нагревательных элементов по таблице нагрузок

1. Определяется $P_{\text{эну}}$.
2. Определяется $P_{\text{ф}}$.
3. Определяется $I_{\text{ф}}$.
4. Определяется расчетная температура, $^{\circ}\text{C}$.

$$t_{pac} = t_{\partial} \cdot K_m \cdot K_c \quad (1.22)$$

где t – действительная рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$;
 K_m, K_c – коэффициенты монтажа и среды.

5. По таблице нагрузок определяется диаметр d и сечение S провода по значениям t_{pac} и рабочему току I_{ϕ} .

6. Определяется длина провода на фазу, м.

$$l_{\phi} = \frac{R_{\phi} \cdot S}{\rho_t} \quad (1.23)$$

7. Определяются диаметр спирали $D_{сп}$, число витков n шаг спирали $h_{сп}$ по формулам:

$$D_{сп} = (8 \dots 10)d$$

$$h_{сп} = (2 \dots 4)d$$

$$\eta = \frac{1000 \cdot l_{\phi}}{\sqrt{(\pi D_{cn})^2 + h_{cn}^2}} \quad (1.24)$$

8. Наружный диаметр трубки ТЭНа:

$$D_n = (2,5 \dots 3) \cdot D_{сп} \quad (1.25)$$

9. Активная длина ТЭНа равна длине спирали:

$$L_{cn} = h_{cn} \cdot n \quad (1.26)$$

10. Проверяется возможность монтажа ТЭН в установку.

Требования к проведению лабораторных работ по дисциплине

1. Терминальный класс или индивидуальные компьютеры Laptop.
2. Операционная система - GNU Linux (Debian, Linux Mint).
3. Рабочая среда - система компьютерной математики GNU Scilab с системой имитационного моделирования xcos или GNU Octave)
4. Рабочие стенды и электротехнические устройства по профилю выполняемой темы для проведения лабораторно-практических работ.

Лабораторная работа № 1-Исследование динамики нагрева тел с использованием методов имитационного моделирования

Цель работы. Ознакомление с динамикой нагрева сельскохозяйственного сырья и материалов и тепловым расчетом электронагревательных установок в технологических процессах сельскохозяйственного производства. Составление уравнения теплового баланса при нагреве тела. Определение постоянной времени нагрева, установившейся температуры при нагреве и охлаждении тела. Определение теплового к.п.д. процесса нагрева.

Краткие теоретические сведения.

Рассмотрим процесс нагрева материала объемом V с удельной теплоемкостью c и плотностью ρ . Пусть внутри материала действует источник теплоты постоянной мощности P , а вся его наружная поверхность F контактирует с окружающей средой, отдавая ей теплоту. Превышение температуры t_m материала над температурой окружающей среды $t_{окр}$ обозначим:

$$\theta = t_m - t_{окр}, \quad (1.27)$$

Примем следующие допущения: температура t_m материала в любой момент времени одинакова во всех точках объема; удельная теплоемкость c материала и, следовательно, его полная теплоемкость $C = V\rho c$, а также коэффициент k теплоотдачи не зависят от превышения температуры.

За время $d\tau$ часть энергии $C d\theta$, подводимой к материалу, расходуется на повышение его температуры, а часть $k F \theta d\tau$ будет отдаваться в окружающую среду, т.е.

$$P d\tau = C d\theta + k F \theta d\tau, \quad (1.28)$$

Следовательно, уравнение процесса электронагрева

$$d\theta/d\tau + k F \theta / C - P / C = 0, \quad (1.29)$$

представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка с постоянными коэффициентами. Время τ нагрева - один из параметров, определяющий режим нагрева материала. Приняв, что начальное превышение температуры θ_0 материала над температурой окружающей среды равно нулю, т.е. температуры материала и окружающей среды

одинаковые, уравнение (1.29) запишем в виде

$$d\tau = C_T d\theta / (P - k_T F \theta), \quad (1.30)$$

Проинтегрировав выражение (1.30) и определив постоянную интегрирования из принятых условий задачи, окончательно получим:

$$\tau = \frac{C_m}{k_m F} \lg - \frac{P}{P - k_m F \theta}, \quad (1.31)$$

Таким образом, время нагрева определяется общей теплоемкостью материала, мощностью нагрева и теплоотдающей способностью. Величина T , равная отношению полной теплоемкости C_T материала к его теплоотдаче $k_T F$, называется постоянной времени нагрева. С учетом этого

$$\tau = T \lg \frac{P}{P - k_m F \theta} \quad (1.32)$$

Превышение температуры нагрева определяется из формулы

$$\theta = (P / k_m F) (1 - e^{-\tau/T}), \quad (1.33)$$

При $\tau = \infty$ превышение температуры принимает установившееся значение

$$\theta = \left(\frac{P}{k_m F} \right) (1 - e^{-\tau/T}), \quad (1.34)$$

Нетрудно показать, что при $\tau = T$

$$\frac{\theta}{\theta_{уст}} = 0,63 \quad (1.35)$$

На основании этого постоянную времени T можно определить как время, необходимое для достижения значения 0,63 установившегося превышения температуры. С точностью до 1% считают, что температура достигает установившегося значения через время, равное $5T$. При отключении электротермической установки материал охлаждается. Так как энергия, подводимая к установке, равна нулю, то левая часть уравнения (1.16) также

равна нулю:

$$C_m d\vartheta + k_m F \vartheta d\tau = 0, \quad (1.36)$$

Если охлаждение при $\tau=0$ начинается с установившегося значения превышения температуры $\vartheta_{уст}$, то уравнение (1.24) принимает следующий вид:

$$\vartheta = \vartheta_{уст} e^{-\tau/T} = P/k_m F e^{-\tau/T}, \quad (1.37)$$

При $\tau=T$

$$\frac{\vartheta}{\vartheta_{уст}} = 0,37 \quad (1.38)$$

и охлаждение практически закончится через время, равное $5T$.

Экспоненциальный характер изменения превышения температуры при нагреве и охлаждении свидетельствует о том, что их скорости изменяются во времени.

Чтобы определить скорость $v_{наг}$ нагрева, дифференцируют уравнение (1.34) по времени:

$$v_{наг} = \frac{d\vartheta}{d\tau} = \frac{\vartheta_{уст}}{T} e^{-\tau/T}, \quad (1.39)$$

Скорость $v_{охл}$ охлаждения находят, дифференцируя уравнение (1.37):

$$v_{охл} = \frac{d\vartheta}{dt} = -\frac{\vartheta_{уст}}{T} e^{-\tau/T}, \quad (1.40)$$

Из анализа выражений (1.39) и (1.40) видно, что скорости нагрева и охлаждения экспоненциально убывают до нуля через время $\tau=\infty$, а практически через время, равное $5T$.

Максимальная скорость нагрева $v_{наг}^{max}$ наблюдается в начальный момент, когда отсутствует температурный перепад между нагреваемым материалом и окружающей средой. При охлаждении скорость снижения температуры имеет максимальное значение в начальный момент времени.

Динамика превышения температуры и скорости нагрева влияет и на энергетические показатели процесса, в первую очередь на тепловой КПД. В рассматриваемом случае он определяется отношением полезно израсходованной энергии к затраченной, т. е.

$$\eta_m = C_m d\vartheta / P d\tau \quad (1.41)$$

С учетом уравнения (1.38)

$$\eta_{\text{ж}} = 1 - \frac{q}{q_{\text{жж}}}, \quad (1.42)$$

План работы

1. Ознакомится с программированием дифференциального уравнения первого порядка в среде программирования (Octave, Scilab)
2. Привести дифференциальное уравнение первого порядка для моделирования процессов нагрева и охлаждения.
3. Написать функцию для расчета и построения кривых нагрева и охлаждения тел и определения параметров динамики нагрева.
4. Рассчитать значения изменения температуры тела при заданных параметров процесса нагрева.
5. Построить кривые нагрева и охлаждения тела с использованием стандартных функций построения графиков в выбранной среде программирования.

Исходные данные (табл. 1.4) выбирать согласно последних цифр зачетки (согласовать с преподавателем). По первому столбцу необходимо выбрать исследуемый материал. По второй объем тела, дм³/ температура окружающего воздуха.

Таблица 1.4-Исходные данные для расчета параметров нагрева исследуемых тел

	Объем тела, дм**3/температура окружающей среды, С ⁰								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-Сталь	2/1 2	12/12	22/12	1/12	2/5	2/22	2/12	4/12	12/2
2-Кирпич	3/1 2	13/12	23/12	2/12	3/2	3/22	3/12	5/12	13/2
3-Чугун	4/1 2	14/12	24/12	3/12	4/3	4/22	4/12	6/12	14/2
4-Бетон	5/1 2	15/12	25/12	4/12	5/4	5/22	5/12	7/12	15/2
5-Вода	1/1 2	11/12	21/12	2/12	1/5	1/22	1/12	3/12	11/2
6-Мазут	6/1 0	16/10	26/10	5/10	6/6	6/20	6/10	8/10	16/1
7-Зерно	2/1 1	12/11	22/11	2/11	2/2	2/21	2/11	4/11	12/1
8-Почва	7/1 3	17/13	27/13	6/13	7/5	7/23	7/13	9/13	17/3
9-Воздух	8/9	18/9	28/9	7/9	8/4	8/29	8/9	10/9	18/4
0-молоко	2/5	12/5	22/5	1/5	2/3	2/25	2/5	4/5	12/5

Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать: изложение цели работы, краткие теоретические сведения, текст программы расчета, График динамики нагрева тела, принципиальную схему, таблицы с результатами расчетов, выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы:

1. Параметры характеризующие динамику процесса нагрева.
2. Что такое постоянная времени нагрева?
3. Как определить время нагрева.
4. При каком значении времени нагрева процесс считается установившемся?
5. Аналитическое выражение скорости нагрева.
6. Как определить потребную мощность установки для нагрева тел.
7. Тепловой КПД установки.
8. Ограничения принимаемые при составлении дифференциального уравнения нагрева.

Литература

1. Карасенко В.А., Заяц Е.М., Баран А.И., Корко В.С. Электротехнология, М.: Колос, 1992 г. С.165.
2. Басов А.И., Быков В.Г., Лаптев А.В., Файн В.Б. Электротехнология, М.: Агропромиздат, 1985 г. С.95.
3. Кудрявцев И.Ф., Карасенко В.А. Электрический нагрев и электротехнология. М.: Колос, 1975. С.230.

Пример составления программы-функции (пакет свободного программирования Octave)

Рассчитать и построить кривую нагрева(охлаждения) водонагревателя:

```
function dinumic_cuver()
% вода нагревается в баке из малоуглеродистой стали.
% диаметр бака,м
d = 0.60
% толщина стенки бака,м
delta_st = 0.003
% высота бака,м
h = 0.80
% коэффициент теплопроводности стенки
lumbda_st = 25.0 %Вт/(м**2 град.)
% теплоемкость воды
```



```

C_v = 4190                                %кДж/(кг*град)
% Масса бака
m0 = 32                                    % кг
% теплоемкость материала бака
C_t = 451                                  %кДж*(кг*град)
% задачао: разделить мощность и тепловой КПД вЭТ-200
% (полная загрузка) M_h2o = 200 gu
% при нагреве воды от t_start =10 град до t_end =90 град
% (delta_t = 80 град) за время delta_tau = 2 ч
%*****
M_h2o = 200                                %масса воды в баке, кг
t_start_1 =10                              % град
t_end =90                                   % град
delta_t = t_start_1 - t_end % град
delta_tau = 2                              % время нагрева,ч
t_air = 20                                 % температура воздуха, град
t_start = 23                               % град
t_settled = 90                             % конечная температура нагрева,град
delta_st = 0.002                           % толщина стали бака,м
k_load = 1.3                               % коэффициент запаса
%*****
% определяем полезную мощность нагревателя,Вт
P_useful = ( M_h2o * delta_t * C_v ) / ( delta_tau * 3600) % Вт
% коэффициент теплоотдачи наружной поверхности бака
alpha_2 = 3.26 * (t_settled - t_air)^0.25 % необходимо учесть динамику спр.
% alpha_2 = 1.5% справочник
% внутренний диаметр бака
d_tank = D-2*delta_st % м
% термическое сопротивление боковой цилиндрической стенки бака на 1 м длины
R_l_bok = (delta_st * log(D/d_tank) / lumbda_st +1/(alpha_2) )
% термическое сопротивление боковой поверхности бака
R_bok = R_l_bok % * H % (м**2 * град)/Вт
% термическое сопротивление торцевой цилиндрической стенки бака
R_tor = delta_st / lumbda_st + 1.0/alpha_2 % %Вт/(м**2 * град)
% Площадь боковой поверхности бака
F_bok = 3.14 * D* H % М**2
% Площадь торцевой поверхности бака
F_tor = 3.14 * D* D/4 % М**2
% Тепловой поток,теряемый через боковую поверхность
P_bok = ( delta_t/R_bok ) * F_bok %

```

```

% Тепловой поток, теряемый через торцевую поверхность
P_tor = ( delta_t/R_tor ) * F_bok      %
% Общие потери
P_sum_los = P_bok + 2*P_tor
% Расчетная мощность
P_calc = P_sum_los + P_useful
% Тепловой КПД
kpd_th = P_useful/(P_useful + P_sum_los)
% Установленная мощность
P_plase = k_load * P_calc
% Теплоемкость установки
C_plant = M_h2o * C_v + m0 * C_t % Дж
% Коэффициент теплопередачи боковой стенки бака
k_bok = 1.0/R_bok
% Коэффициент теплопередачи торцевой стенки бака
k_tor = 1.0/R_tor
% Средний коэффициент теплопередачи
k_sred = ( k_bok + k_tor ) /2
% Коэффициент теплопотерь в окружающую среду
A = k_sred * (F_bok + 2*F_tor)
% Постоянная времени
T1 = C_plant/A
% T = C_plant/ P_sum_los
% Коэффициент передачи установки
k_ob = 1.0/A
% Мощность необходимая для поддержания заданной температуры в установившемся
% режиме
P_0 = t_settled/k_ob
% Регулирующее воздействие при включении электронагревательных элементов
B1 = ( P_plase - P_0 )/ P_0
% Регулирующее воздействие при выключении электронагревательных элементов
B2=1
% Зона неоднозначности регулятора ТРЭ
a = 2 * 1/t_settled
%
% ДИНАМИКА НАГРЕВА
%*****
% температура тела при времени нагрева равной постоянной времени
y_tmp = 0.632*t_settled;
for i=1:1 :30
T=T1/1000;

```

```

tau(i) = i*10;
% кривая нагрева
t(i) = t_start * ( 2.73^( -tau(i)/T ) ) + t_settled * ( 1- 2.73^( -tau(i)/T ) );
% кривая охлаждения
t_cold(i) = t_settled * ( 2.73^( -tau(i)/T ) ) + t_start * ( 1- 2.73^( -tau(i)/T ) );
end
% построение кривой нагрева однородного тела
plot(tau, t, '- b', tau, t_start, '-*r', tau, t_settled, '-*g', tau, y_tmp, '-*b', tau, t_cold, '- g')
title('curve heating')
xlabel('time,sec ')
ylabel('temperature,C ')
legend(' ')
grid on
endfunction

```

Лабораторная работа №2 - Определение термического сопротивления ограждающих конструкций с использованием методов тепловизионного обследования

Цель работы. Ознакомление с принципом работы тепловизора. Получение навыков практической работы по тепловизионной съемке объекта при энергоаудите здания. Расчет фактического термического сопротивления по результатам тепловизионной съемки.

Краткие теоретические сведения.

Известно, что все физические тела, температура которых отлична от температуры абсолютного нуля (-273°C), излучают во всем спектре электромагнитные колебания. А тепловизоры, посредством которых производится термография, – это приборы, которые позволяют дистанционно регистрировать и визуализировать инфракрасное (ИК) или тепловое излучение тел в диапазоне длин волн от 1,5 до 20 мкм и более (для сравнения, человеческий глаз видит только в диапазоне от 0,4 до 0,76 мкм), рис. 2.1.

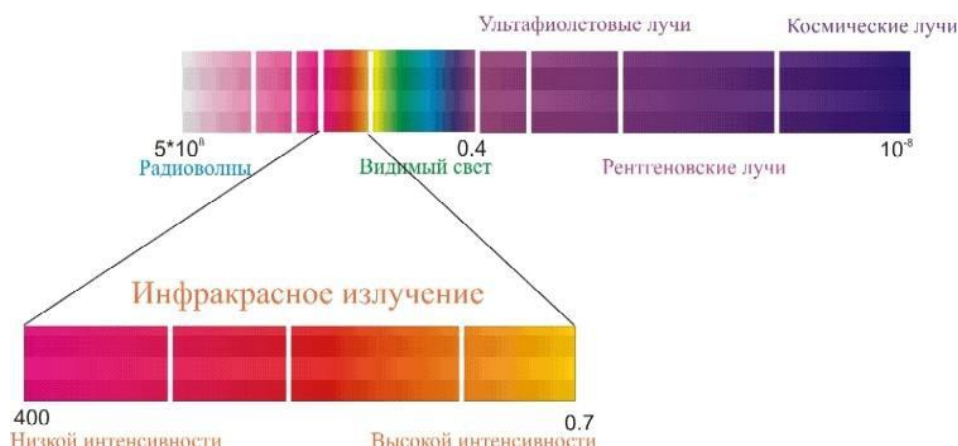


Рисунок 2.1- Диапазон инфракрасного излучения на общей шкале ЭМВ

Тепловизоры градуируют и поверяют в единицах температур по эталонным излучателям.

Тепловизор – прибор пассивный, он только принимает и регистрирует излучение от объекта, но даже при морозной погоде интенсивности теплового излучения здания достаточно для того, чтобы получить температурную карту поверхности его ограждающих конструкций. Применение термографии для поиска и регистрации тепловых аномалий ограждающих конструкций известно давно, первые примеры появились практически спустя несколько лет после создания и появления первых тепловизионных приборов в начале 60-х годов. Громоздкость и

несовершенство тепловизоров того времени многие годы сдерживало их широкое применение на практике. Но громадный рост тарифов на потребление энергоресурсов и появление на рынке современных тепловизоров с великолепными техническими характеристиками (рис. 2.2) побудило специалистов ЖКХ и ТЭК к широкому внедрению в практику тепловизионного обследования как составной части полного энергетического обследования предприятий, а также при составлении энергетических паспортов.



Рисунок 2.2- Общий вид тепловизора testo 885-2

- 1.Объектив цифрового преобразователя изображений для получения визуальных изображений и два светодиода для подсветки
- 2.Объектив инфракрасной камеры для получения термограмм
- 3.Фиксатор объектива** для открытия фиксатора объектива
- 4.Резьба (стандартная крупная резьба 1/4" - 20) для установки на штатив (с нижней стороны тепловизора).
- 5.Лазер (не для всех регионов) для маркировки объектов измерений.
- 6.Кольцо фокусировки (Focusing ring) для ручной фокусировки.
- 7.Поворотная рукоятка и ремень с настраиваемой длиной
- 8.Аккумуляторный отсек (с нижней стороны тепловизора).
- 9.Кнопки управления (на задней и верхней панели тепловизора)
- 10.Два хомута для переносного/наплечного ремня.
- 11 Гнёзда:

Возможности и недостатки термографического метода определения дефектных мест ограждающих конструкций и уровня их теплопотерь.

Тепловизионная диагностика характеризуется высокой информативностью, это бесконтактный дистанционный метод определения температур поверхности, так как сразу по всему полю зрения прибора регистрируется более 20 тысяч температурных точек только в одном кадре. Набор объективов позволяет снимать тепловую картину объекта с высоким пространственным и температурным разрешением. Стандартный тепловизионный объектив для наружных измерений имеет поле зрения около 20° , а с объективом 40 или 60° удобно производить регистрацию в стеснённой обстановке внутренних помещений, не увлекаясь при этом углами визирования, далёкими от нормали. Применение телеобъектива с полем зрения $2-3^\circ$ позволяет снимать верхние этажи зданий, дымовые трубы и другие отдалённые сооружения. Обычно калибровка тепловизоров по температуре производится в нескольких температурных диапазонах, перекрывая область от -20°C до $+1500^\circ\text{C}$, встречаются аппараты и с более широкими возможностями. Погрешность измерений тепловизором температуры в абсолютных значениях обычно не превышает $\pm 2\%$ в указанном для данного прибора диапазоне температур. Это обусловлено тем, что амплитуда тепловизионного видеосигнала для тепловых приёмников зависит от температуры в четвёртой степени, а для фотонных приёмников зависимость температура – сигнал определяется третьей степенью. Широкий динамический диапазон изменения электрического сигнала накладывает ограничения и вызывает нелинейные преобразования при оцифровке аналогового сигнала, что и приводит к такому значению величины погрешности. Следует учесть, что величина температурной погрешности имеет зависимость и от s – коэффициента излучения строительных материалов в инфракрасной области, это особенно сказывается при значениях $s < 0,8$. Современные тепловизоры имеют температурную чувствительность не менее $0,05^\circ\text{C}$, а их пространственное разрешение в режиме инфракрасного микроскопа достигает 60 мкм . Итак, с помощью тепловизора мы можем получить температурную карту фрагмента внутренней или внешней поверхности здания. Например, для тепловизора Inframetric-760, судя по заявленным производителем техническим характеристикам, при проведении обследования в диапазоне 20°C , погрешность абсолютных измерений температуры не превысит $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Конечно, это при условии, что коэффициент излучения поверхности близок к единице и температурный дрейф прибора незначителен. Тепловизор во время измерений необходимо проверять на наличие температурного дрейфа. Для

этого после регистрации термограмм фасадов следует вернуться к начальному ракурсу измерений и сделать повторный тепловой снимок, с тем чтобы в процессе последующей обработки данных корректировать значения средних температур по стене. Температурный дрейф показаний присущ всем тепловизорам, так как во время работы электронных компонентов прибора происходит выделение тепла, которое затем поглощается элементами оптического тракта и попадает в поле зрения детектора. Для уменьшения дрейфа, обусловленного остыванием тепловизора при наружных измерениях, рекомендуется выдержать прибор в течение получаса перед работой для принятия им температуры окружающего воздуха.

Влияние атмосферы при регистрации ИК-изображений, метеоусловий и дистанции. Выбор критерия определения и классификации дефектов. Как известно, термограмма представляет собой условное цветное изображение фрагмента температурного поля поверхности здания. В левой части термограммы обычно приведена цвето-температурная шкала, характеризующая диапазон измеренных температур и соотношение температура – цвет. Например, если на шкале приведено 20 цветов (т. е. мы имеем 20 изотерм), а диапазон измеряемых температур установлен от 0 до 10 °С, это означает, что каждому цвету соответствует перепад температур в 0,5 °С.

В процессе обработки на зарегистрированных термограммах указывается средняя температура характерных зон конструкций и зон дефектов, в таблицах к термограмме приводятся величина перепада температуры поверхности стены или окна в зонах по отношению к наружному воздуху (превышение температуры). Как известно, величина перепада температур прямо пропорциональна тепловому потоку с поверхности ограждающей конструкции. Величина пропорциональности называется коэффициентом теплоотдачи поверхности (α). Учитывая вышесказанное, введём понятие критерия дефектности, то есть какие, по нашему мнению, тепловые зоны можно отнести к аномальным и с каким перепадом температур они могут считаться дефектными.

Под дефектом нами понимается такой участок поверхности, на котором превышение температуры в 1,5 раза выше зарегистрированного в среднем по стене или аналогичного участка по благополучной области конструкции. То есть тепловой поток в области дефекта более чем в 1,5 раза выше среднего. В результате анализа термограмм и работы с технической документацией на здание определяются дефекты конструкций. Например, это могут быть дефекты в укладке теплоизоляции стен, брак в герметизации панельных стыков, трещины стен, вызывающие инфильтрацию воздуха, негерметичные

примыкания дверных и оконных коробок и т.п.

На точность измерений и достоверность полученных результатов влияют:

1. ветер и его направление. При скорости ветра уже 5 м/с превышения температуры наружных поверхностей уменьшаются в 2 раза [6];
2. температурный напор здания, (рекомендуемый перепад температур не менее 15 °С);
3. дистанция до обследуемой поверхности. Здесь возникает два аспекта проблемы: с ростом дистанции падает пространственное разрешение, а, начиная с 50 метров, существенным становится влияние атмосферы на ослабление тепловизионного сигнала, особенно в диапазоне 3-5 мкм;
4. наличие паразитных засветок от солнца и других источников тепла, или, например, переотражение от соседних зданий или угловых фасадов.

Обычно результаты тепловизионных измерений оформляются в виде отдельного параграфа энергетического обследования, включающего в себя протокол измерений, заключение и приложения (цветные термограммы). На каждой странице к термограмме необходимо прилагать электронное фото фрагмента здания с указанием местоположения термограммы. Удобно использовать архивную тепловизионную информацию в электронном виде для сравнения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий до и после ремонта, в разных по времени отопительных сезонах.

Спектральные характеристики. Сегодня на рынке в основном предлагаются тепловизоры, работающие в окнах прозрачности атмосферы в диапазоне 3-5 мкм или 7-12 мкм, те и другие годятся для наших целей. Рассмотрим их аппаратные особенности. При равной температурной чувствительности (не хуже 0,1 °С) тепловизоры спектрального диапазона 3-5 мкм более тщательно в деталях прорисуют мелкие элементы фасадов: переплёты окон, температурные швы, кирпичную кладку, так как дифракционное разрешение оптического тракта в этом спектре выше в 2 раза, чем в диапазоне 7-12 мкм. В диапазоне 3-5 мкм также наблюдается повышенный тепловой контраст ИК-изображения, и он более пригоден для регистрации высокотемпературных объектов, таких как топки, пламя и прочее, но при работе на дистанциях уже свыше 10 метров в спектральном диапазоне 3-5 мкм на прохождение тепловых волн скажется влияние паров воды и углекислого газа вследствие поглощения и рассеяния инфракрасного излучения. Для длин волн 7-12 мкм при обычном состоянии атмосферы фактор ослабления излучения от объектов следует учитывать при дистанциях только свыше 100 метров, приборами этого спектрального диапазона предпочтительнее проводить термографию верхних этажей зданий, обследовать состояние дымовых труб. Кроме того, в современных

тепловизорах с таким рабочим спектром используются неохлаждаемые болометрические матрицы, поэтому не требуется дополнительной энергии на охлаждение фотоприёмной матрицы и уменьшаются габариты тепловизора. На регистрацию тепловой картины фасадов в диапазоне длин волн 7-12 мкм меньше влияет солнечная засветка фасадов, так как в этом спектре регистрируется примерно 22 % всей энергии излучения от окружающих предметов, в то время как в диапазоне 3-5 мкм эта доля всего 1,6 %, но из этого не следует, что процесс измерений можно проводить в дневное время.

Необходимо помнить! Низкий коэффициент излучения:

- уровень отраженного инфракрасного излучения очень высок, точное измерение температуры без дополнительных мер осуществить сложно.
- необходима правильная настройка компенсации отраженной температуры (КОТ).

Настройка коэффициента излучения:

Когда температура измеряемого объекта выше температуры окружающей среды:

- Завышенный коэффициент излучения приведет к завышенным показаниям температуры. Заниженный коэффициент излучения приведет к заниженным показаниям температуры.

Последовательность действий оператора при тепловизионной съемки.

- Включить тепловизор и дать ему стабилизироваться (5-10 минут)
- При необходимости выбрать в меню пункт «настройка», выполнить автокалибровку.
- Установить КИ 0,98 и комнатную температуру в настройках. (если выполняется при комнатных условиях, желательно избегать источников тепла холода при проверке)
- Выбрать меню «Измерения» -> «горячая точка» или «одноточечноеизмерение»

Настроить фокус и навести прибор на «подопытного» :) с расстояния 1 метр и замерить температуру слезного канала глаза.

- Температура должна быть примерно равна 34-35 °С. Для получения точных результатов измерения измеряемый объект должен быть в 2-3 раза больше наименьшего видимого объекта.
- **Не проводите измерения при:**
тумане и атмосферных осадках. А также когда влага конденсируется на тепловизоре.
- По возможности избегайте ветра и воздушных потоков около объекта

измерений. При их наличии, учитывайте это при анализе снимков.

- Не проводите измерения в пыльном помещении/воздухе.
- Проводите измерения на минимальном расстоянии от объекта.
- Учитывайте влияние Вашего излучения.
- Проводите съемку с разных углов.
- Не проводите съемку рядом с горячими/холодными предметами.
- Проводите измерения рано утром/в облачную погоду, иногда – в темноте. Когда это возможно, используйте штатив.
- Не проводите измерения при тумане и атмосферных осадках. А также когда влага конденсируется на тепловизоре.
- По возможности избегайте ветра и воздушных потоков около объекта измерений. При их наличии, учитывайте это при анализе снимков.
- Не проводите измерения в пыльном помещении/воздухе.
- Проводите измерения на минимальном расстоянии от объекта.
- Учитывайте влияние Вашего излучения.
- Проводите съемку с разных углов.
- Не проводите съемку рядом с горячими/холодными предметами.
- Проводите измерения рано утром/в облачную погоду, иногда – в темноте.
- Когда это возможно, используйте штатив (при съемке без Super Resolution ®)
- рекомендуется проводить бесконтактные измерения температуры при значении коэффициента теплового излучения более 0.7;
- - при значении коэффициента теплового излучения в пределах от 0.3 до 0.7 проводить бесконтактные измерения температуры допускается, но не рекомендуется;
- - при значении коэффициента теплового излучения менее 0.3 результаты не могут быть признаны достоверными из-за того, что уровень сигнала от объекта очень слабый и от поверхности отражается много паразитного излучения.
- Коэффициент излучения зависит и от угла, под которым измеряется температура объекта. Так для воды при визировании перпендикулярно поверхности коэффициент излучения составит 0.98, то при уменьшении угла скольжения до 10° значение коэффициента излучения упадет до 0.01, то есть в 98 раз
- 50% принятого тепловизором излучения – «собственное» излучение объекта (температура -28°C)
- 50%- принятого тепловизором излучения- «отраженное» от окружающих объектов с температурой ниже реальной, (например -60°C)
- Тепловизор «вычитает» составляющую отражения с заниженной

температурой из общего регистрируемого излучения

- «Видимая» температура завышается и попадает измерительный диапазон

При расчете потерь на излучение необходимо пользоваться значением полной (интегральной) излучательной способности поверхностей, табл 2.1. Значение температуры следует брать из результатов измерений тепловизором.

Таблица 2.1-Значения излучательной способности для неметаллов в диапазоне 7 ... 14 мкм

Материал	Излучательная способность
Асбест	0.95
Асфальт	0.95
Базальт	0.7
Бетон	0.95
Бумага (любого цвета)	0.95
Вода	0.93
Гипс	0.8-0.95
Глина	0.95
Гравий	0.95
Древесина, натуральная	0.9-0.95
Известняк	0.98
Карборунд	0.9
Каучук	0.95
Керамика	0.95
Лёд	0.98
Пластмасса (толщиной, более 0,5 мм)	0.95
Стекло	
--Зеркало	0.85
--Капля	н.р.
Краска (неалюм.)	0.9-0.95
Песок	0.9
Снег	0.9
Почва (грунт)	0.9-0.98
Ткань	0.95
Углерод	
--не окисленный	0.8-0.9
--графит	0.7-0.8

План работы

1. Ознакомится с устройством тепловизора testo 885-2.
2. Получить навыки практической работы с тепловизором при оценке состояния ограждающих конструкций.
3. Изучить алгоритм расчета фактического термического сопротивления ограждающих конструкций.

4. Рассчитать фактическое термическое сопротивление ограждающих конструкций здания главного корпуса НГАУ.

5. Рассчитать теплотери здания НГАУ при расчетной температуре наружного воздуха.

Содержание отчета.

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать: изложение цели работы, краткие теоретические сведения, фасад здания с нанесенными теплофизическими характеристиками здания, таблицы с результатами тепловизионной съемки (табл. 2.2-2.3) и расчетов фактических значений потерь тепловой энергии, выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы:

1. Принцип работы тепловизора;
2. Какие параметры необходимо вводить для коррекции результатов измерений объекта?
3. Как определить фактическое сопротивление теплопередачи;
4. Соотношение конвективной и кондуктивной составляющей потерь тепловой энергии исследуемого здания?
5. Аналитическое выражение для определения суммарных тепловых потерь здания;
6. Какие дополнительные параметры съемки необходимо учитывать при тепловизионном обследовании;
7. Оценка погрешности измерения температуры поверхности при тепловизионном обследовании;

Литература

1. Ж. Госсорг. Инфракрасная термография: Основы, техника, применение. - М.: Мир, 1988.- 416с.

Пример расчета фактического термического сопротивления теплопередачи

Производится съемка исследуемых поверхностей и по выбранным участком. Определяется значение температуры наружной поверхности (элементы ограждений с разным термическим сопротивлением - стена, подоконная поверхность, стеклопакет и т.д.)

Фактическое сопротивление теплопередачи по результатам тепловизионного обследования определится как

$$R_{\phi} = 0.043 * (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / (r_{\text{г}} - t_{\text{н}})$$

где $t_{\text{в}}$ -внутренняя температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$

$t_{\text{н}}$ -наружная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$

$r_{\text{г}}$ - температура наружной поверхности полученная термографированием, $^{\circ}\text{C}$

Таблица 2.2- Результаты измерения при тепловизионном обследовании зданий

№ реперной зоны	Средняя температура наружного воздуха $^{\circ}\text{C}$	Средняя температура внутреннего воздуха $^{\circ}\text{C}$	Средняя температура на наружной поверхности $^{\circ}\text{C}$	Средняя температура на внутренней поверхности $^{\circ}\text{C}$
1-ая зона	+1,0	+22,0	+1,24	+21,20
2-ая зона	+1,0	+22,0	+1,29	+21,09
стеклопакеты	+1,0	+20,4	+3,42	+17,8

По результатам тепловизионного обследования зданий вычисляются теплопотери по заданной температуре наружного воздуха, фактических поверхностей элементов строительных конструкций.

Таблица 2.3- Результаты расчета фактического сопротивления строительных конструкций

Тип ограждающей конструкции	Сопротивление теплопередаче $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$		
	СНиП 23-02 2003	Проектное значение	Расчетное значение
Наружные стены здания, участок №1	2,6	-	$3,76 \pm 0,21$
Наружные стены здания, участок №2	2,6	-	$3,11 \pm 0,20$
Светопрозрачные конструкции (стеклопакеты)	0,56	-	$0,34 \pm 0,04$

Лабораторная работа №3 - Исследование динамики индукционного нагрева с использованием имитационного моделирования

Цель работы. Ознакомление с принципом работы индукционных нагревателей. Получение навыков практической работы по расчету и моделированию индукционного нагрева. Расчет параметров и режимов работы нагревателей.

Краткие теоретические сведения по индукционному нагреву.

Принцип индукционного нагрева проводящих тел проводников как первого, так и второго рода базируется на поглощении ими электромагнитной энергии при возникновении в нагреваемом теле наведенных вихревых токов по закону Джоуля - Ленца. Первичная обмотка трансформатора по отношению к нагреваемому телу является индуктором переменного магнитного поля. Нагреваемое тело является вторичной обмоткой трансформатора, имеющей один короткозамкнутый виток (рис. 3.1).

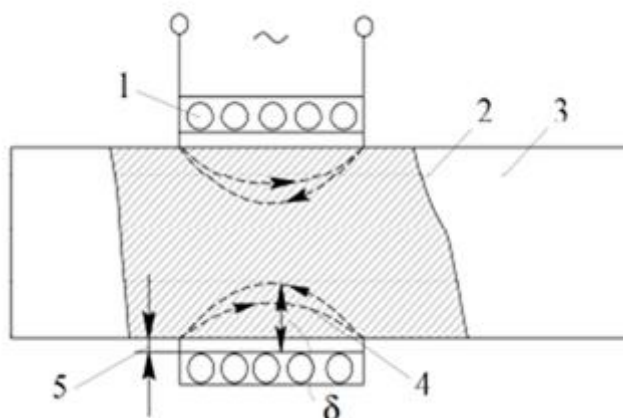


Рис. 3.1. **Принципиальная схема индукционного нагрева:** 1 - индуктор; 2 - магнитный поток в нагреваемом теле; 3 - нагреваемое тело; 4 - наведенный ток; 5 - воздушный зазор; 8 — глубина прогрева

Магнитный поток 2, создаваемый первичной обмоткой - индуктором 1, пропорционален его МДС и обратно пропорционален сопротивлению магнитной цепи. Возникающая в нагреваемом теле электродвижущая сила (ЭДС)

$$E = 4,44 \cdot \Phi \cdot w \cdot f \cdot 10^{-3}$$

где Φ - магнитный поток, Вб; w — число витков в катушке; f — частота, Гц.

При известном значении сопротивления r нагреваемого тела ЭДС обеспечивает возникновение в нем вихревого тока I и выделение соответствующей мощности

$$P = I^2 r = E^2 r / z^2,$$

где z - полное сопротивление, Ом.

Индукционный нагрев представляет собой прямой нагрев сопротивлением, включение же нагреваемого тела в цепь вихревого тока осуществляется за счет магнитной связи. Такой нагрев обладает всеми преимуществами прямого нагрева сопротивлением: высокая скорость нагрева, неограниченный уровень достигаемых температур, достаточных для нагрева металлов, плавления металлов и неметаллов, перегрева, расплава, испарения материалов и получения плазмы. Процесс выделения мощности при индукционном нагреве имеет большую скорость, легко может быть автоматизирован и проводится практически в любой среде. Глубина зоны циркуляции вихревых токов и, следовательно, зоны выделения энергии зависит не только от времени действия электромагнитного поля, но и от частоты тока индуктора (увеличивается при низких частотах и уменьшается с повышением частоты). Эффективность передачи энергии от индуктора к нагреваемому току зависит также от величины зазора между ними и повышается при его уменьшении. Как и нагрев сопротивлением, индукционный нагрев дает высокую производительность и комфортные условия труда, однако для него требуются более сложные источники питания и повышенный удельный расход электроэнергии.

Схемное решение индукционного нагрева предусматривает наличие индуктора, зазора и нагреваемого тела. Эти элементы определяют эффективность преобразования электрической энергии в тепловую.

Индуктор создает переменный во времени магнитный поток, т. е. электромагнитную волну, падающую на нагреваемое тело, в котором наводит вихревые токи. Конструкции индукторов разнообразны: цилиндрическая, плоская, фасонная. Индукторы изготавливаются из меди (немагнитного металла) и охлаждаются водой. Как правило, индукторы имеют много изолированных друг от друга витков. При выполнении нагревательных операций индуктор может находиться как снаружи нагреваемого тела, так и внутри его.

При нагреве до высоких температур происходит изменение удельного сопротивления. Значение КПД при индукционном нагреве составляет 0,70-0,88. Для получения более высоких КПД частота тока при уменьшении диаметра цилиндра должна повышаться до определенного предела, далее КПД остается неизменным. Потери энергии в зазоре снижают КПД. Эффективность нагрева тем выше, чем меньше соотношение $\rho_{\text{и}}/(\rho \cdot m)$, где $\rho_{\text{и}}$ - удельное сопротивление материала индуктора, Ом/мм²; ρ - удельное сопротивление нагреваемого металла, Ом/мм²; m - относительная магнитная проницаемость металла. Поэтому индукционный нагрев сплошных металлических цилиндров из меди или алюминия неэкономичен.

При расчетах коэффициента мощности системы индукционного нагрева необходимо учитывать как активные, так и реактивные мощности, выделяющиеся в нагреваемом теле, в индукторе и в зазоре. Чем больше зазор между индуктором и нагреваемым цилиндром, тем больше реактивная мощность и тем ниже коэффициент мощности системы $\cos\phi$.

Магнитное поле, выходя из индуктора, встречает поверхность нагреваемого тела, в которой сразу начинается выделение тепла. По мере продвижения магнитного поля в глубь тела его нагрев уменьшается. В связи с этим индукционный нагрев по своей природе является поверхностным, поток энергии на глубине Δz меньше потока на поверхности в e^2 раз и составляет $0,136P_0$, где P_0 - поток энергии на поверхности.

Коэффициент мощности системы и реактивная мощность конденсаторной батареи. Известно, что индукционные установки имеют низкий естественный коэффициент мощности, причем его значения изменяются в широких пределах и зависят от частоты тока, зазора между индуктором и изделием, магнитной проницаемости, удельного сопротивления и размеров нагреваемых изделий. Исходя из величины коэффициента мощности, зависящей как от частоты тока, так и от диаметра нагреваемых изделий, выбирают реактивную мощность компенсирующей конденсаторной батареи, руководствуясь не только минимальным расходом электроэнергии, но и уменьшением стоимости установки и сокращением производственных площадей.

План работы

1. Ознакомится с имитационным программированием индукционного нагрева сельскохозяйственных материалов в среде программирования (Octave, Scilab)
2. Привести дифференциальное уравнение первого порядка для моделирования процессов индукционного нагрева.
3. Написать функцию для расчета и построения кривых при индукционном нагреве и определения параметров динамики нагрева.

4. Рассчитать значения изменения температуры тела при заданных параметров процесса нагрева.

5. Задавая последовательно десять значений температуры исследуемого тела, построить кривые нагрева с использованием стандартных функций построения графиков в выбранной среде программирования.

Исходные данные (табл. 3.1) выбирать согласно последних цифр зачетки (согласовать с преподавателем). По первому столбцу необходимо выбрать кпд индуктора и рабочее напряжение. По второй – глубину закалки и диаметр заготовки.

Таблица 3.1-Исходные данные для расчета параметров индукционного нагрева исследуемых тел (материал Ст. 3)

Кпд Индуктора- напряжени е	Глубина закалки,мм/диаметр заготовки,мм								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 0.58 -100	1.2/ 20	1.2/ 20	2/120	1.1/ 20	1.2/ 30	1.2/2 2	1.2/ 20	1.4/ 20	12/20
2 0.60-127	1.3/ 320	1.3/ 20	2/120	1.2/ 20	1.3/ 20	1.3/2 2	1.3/ 20	1.5/ 20	13/20
3 0.65-100	1.4/ 40	1.4/ 20	2/35	1.3/ 30	1.4/ 30	1.4/2 2	1.4/ 25	1.6/ 25	14/25
4 0.68-127	1.5/ 20	1.5/ 20	2/120	1.4/ 20	1.5/ 20	1.5/2 2	1.5/ 20	1.7/ 20	15/20
5 0.70-220	1.0/ 20	1.1/ 20	2/75	1.2/ 25	1.1/ 25	1.1/1 0	1.1/ 30	1.3/ 30	11/30
6 0.55-220	1.6/ 20	1.6/ 30	2/40	1.5/ 30	1.6/ 20	1.6/2 0	1.6/ 20	1.8/ 30	16/30
7 0.58-380	1.2/ 25	1.2/ 30	2/35	1.2/ 30	1.2/ 20	1.2/3 5	1.2/ 35	1.4/ 20	12/25
8 0.70-127	1.7/ 23	1.7/ 20	2/130	1.6/ 30	1.7/ 30	1.7/2 3	1.7/ 13	1.9/ 30	17/30
9 0.80-220	1.8/ 20	1.8/ 20	2/9	1.7/ 25	1.8/ 40	1.8/2 9	1.8/ 29	1.0/ 20	18/40
0 0.59-100	2/30	1.2/ 30	2/50	1/30	1.2/ 30	1.2/2 5	1.2/ 25	1.4/ 30	12/30

Пример составления программы-функции (пакет свободного программирования Octave) для моделирования процесса индукционного нагрева.

```
function [ ] = calc_inductor()  
% Программа расчета индуктора для ТВЧ-установки  
% Определение частоты установки f_optim
```

```

% Ц цилиндрическая заготовка из углеродистой стали
% d_a = 30 мм h_a = 90 мм
x_k = 1 % глубина нагрева,мм
U = 100 % В,напряжение на индукторе
delta_P = 400 % Вт/см**2 по графику Рис 47-Кудрявцев
ro_c_stil_cold = 1e-5 % углеродистая сталь в холодном состоянии Ом*см
ro_c_stil_hot = 1e-4 % углеродистая сталь в горячем состоянии Ом*см - 800 гр.
mu = 100
% если плоская поверхность
f_optim = 5.0 * 1e4 / ( x_k * x_k );
d_a = 30
h_a = 90 % высота индуктора,мм
kpd_inductor = 0.67;
kpd_tr = 0.88 % кпд высокочастотного закалочного трансформатора

% если сквозной нагрев f_optim = 5.0 * 1e5 / ( x_k * x_k );
% если нагрев цилиндра f_optim = 3.0 * 1e6 / ( d * d_k );
% размеры индуктора для холодного состояния

al = 3.18 * 1e4 * U * power(delta_P,-0.5) * power(f_optim,-( 3.0/4.0 ) )
% принимаем a = 0.5 см
a = 0.5% мм,воздушный промежуток
% определяем диаметр индуктора,мм
d_n = d_a + a
% длина индуктора,мм
l = al / a
% высота индуктора,мм
h_inductor = 1.1 * h_a
% число витков индуктора
omega = l / ( pi * d_n )
% мощность подводимая к индуктору
P_inductor = delta_P * pi * d_a * h_inductor * 1e-3 / ( kpd_inductor )
% колебательная мощность индуктора
P_gen = P_inductor / kpd_tr

```

Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать: изложение цели работы, краткие теоретические сведения, задание по расчету индукционного нагревателя с теплофизическими характеристиками исследуемого материала, таблицы с результатами расчетов, выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы:

1. Принцип работы индукционного нагревателя;
2. От каких параметров зависит мощность выделяемая в изделии при индукционном нагреве?
3. Для каких материалов может быть использован индукционный нагрев;
4. Почему при индукционном нагреве потребляется реактивная энергия?

5. Аналитическое выражение для определения мощности выделяемой при индукционном нагреве;
6. Какие дополнительные геометрические параметры индукционной установки необходимо учитывать;
7. Как изменяются магнитные свойства вещества при нагреве.
8. Область использования диэлектрических нагревателей в технологических процессах сельскохозяйственного производства;

Лабораторная работа №4 - Исследование динамики диэлектрического нагрева с использованием имитационного моделирования

Теоретические основы диэлектрического нагрева.

Применение электрического тока, проходящего через диэлектрики и полупроводники в переменном электрическом поле, является основой диэлектрического нагрева. Ему присущи следующие преимущества перед другими способами нагрева: большая скорость и равномерность нагрева, высокая производительность процесса. Диэлектрический нагрев является наиболее эффективным - при его осуществлении вся энергия вносится в массу нагреваемого материала.

Диэлектрический нагрев используют для нагрева непроводящих материалов (диэлектриков), а также полупроводников и проводников II рода. Нагрев происходит в высокочастотном электрическом (электромагнитном) поле вследствие поляризации сред и протекания токов сквозной проводимости.

В диэлектриках процессы поляризации сопровождаются движением (смещением) связанных зарядов, которые есть не что иное, как ток электрического смещения. Плотность тока смещения определяется скоростью изменения вектора электрической индукции .

$$\vec{J} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial \tau} .$$

Диэлектрик, подлежащий нагреву, помещают между металлическими обкладками конденсатора, подключенного к источнику переменного тока. Мощность, Вт/м³, выделяемая в единице объема нагреваемого диэлектрика, определяется выражением, известным из курса ТОЭ при подстановке в которое $\varepsilon_0 = 1/4\pi \cdot (9 \cdot 10^9)$ Ф/м:

$$P_v = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot E^2 \cdot \varepsilon_r \cdot \operatorname{tg} \delta .$$

Из уравнения следует, что диэлектрическая проницаемость ε_r и тангенс угла потерь $\operatorname{tg} \delta$ – основные характеристики диэлектрика, определяющие его нагрев в переменном электрическом поле. Они зависят от частоты f изменения электрического поля, его напряженности, температуры диэлектрика и некоторых других факторов.

В СВЧ - диапазоне наиболее часто используют электромагнитные колебания на частотах 433, 915, 2375 МГц. При выборе напряженности электрического поля исходят из того, что для каждого нагреваемого материала существует определенная напряженность $E_{пр}$, при превышении которой происходит электрический пробой материала. Пробивная

напряженность многих материалов составляет несколько киловольт на миллиметр.

При нагреве материала без воздушного зазора рабочая напряженность, В/м:

$$E = \frac{E_{np}}{1,5 \dots 2}.$$

Минимальную частоту, обеспечивающую требуемый режим нагрева без воздушного зазора в рабочем конденсаторе, находят из выражения:

$$f_{min} = \frac{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{2\pi \cdot \eta_m \cdot \tau \cdot E^2 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta}.$$

При нагреве материала с воздушным зазором в рабочем конденсаторе

$$f_{min} = \frac{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot \varepsilon_r}{2\pi \cdot \eta_m \cdot \tau \cdot E_3^2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \operatorname{tg} \delta}.$$

Увеличивая частоту поля, можно выделить в материале требуемую объемную плотность мощности при пониженной напряженности поля.

Высокочастотный нагрев позволяет повысить качество продукции, ускорить технологические процессы и получить при массовом производстве большую экономию, несмотря на высокую стоимость применяемых установок.

Частицы диэлектрика, помещенного в электрическое поле, испытывают на себе механическое воздействие, смещающее положительно заряженные частицы в одну сторону, а отрицательно заряженные - в другую. Тогда центры электрического действия положительных и отрицательных частиц не совпадают, и во внешнем пространстве такая молекула ведет себя как диполь, т. е. как система двух равных, но противоположных зарядов $+q$ и $-q$, смещенных друг относительно друга на расстояние l . Такой диэлектрик, имеющий ориентированные в одном направлении диполи, называют поляризованным.

Диэлектрик поляризуется не только в постоянном, но и в переменном электрическом поле. В этом случае направление поляризации меняется с частотой поля, упругие диполи вибрируют, жесткие поворачиваются в прямом и обратном направлениях. Происходит и перемещение зарядов, т. е. через диэлектрик протекает электрический ток. При расположении диэлектрика между обкладками конденсатора, на которые подано

напряжение от высокочастотного генератора, электрическая цепь замкнется через этот генератор.

Поляризация вызывает потери энергии ввиду трения между молекулами (потери трения) и перемещения диполей (дипольные потери). Потери энергии выражаются в нагреве диэлектрика или полупроводника, скорость которого определяется частотой изменения поля. Потери при поляризации приводят к запаздыванию смещения молекул по отношению к внешнему полю. С ростом частоты такое отставание увеличивается, пока не достигнет максимума. Дальнейшее повышение частоты приводит к уменьшению поляризации, что ведет к резкому снижению диэлектрической проницаемости вещества.

Выделяющаяся мощность не зависит от теплопроводности диэлектриков и имеет низкие значения. Эта особенность диэлектрического нагрева позволяет значительно ускорить процесс обработки материала по сравнению с нагревом другими способами.

Установки высокочастотного диэлектрического нагрева подразделяют на три вида. Установки первого вида применяются в процессах обработки крупных изделий, требующих быстрого нагрева в однородном электрическом поле: сушка различных волокнистых материалов, целлюлозы и лесоматериалов, обжиг электроизоляторов и фарфоровых изделий, производство звуко- и теплоизоляционных материалов, сварка пластмасс и полимерных материалов.

Установки второго вида применяются для нагрева протяженных плоских изделий: сушка текстильного волокна, рисунков на тканях, бумаги, химических препаратов, полимеризации клеев, нагрев каучука, пастеризация. В установках третьего вида проводятся следующие процессы: размораживание продуктов, разогрев и быстрое приготовление блюд, обжиг простых керамических изделий, сушка грибов, чая.

Устройства диэлектрического нагрева по частотам подразделяют на два вида: установки, работающие на высокой частоте, - ВЧ-установки (частота - 66 кГц - 100 МГц), и установки сверхвысокочастотного нагрева - СВЧ-установки (частота - 1 000 МГц и выше). Последние чаще применяются при разогреве пищевых продуктов. Выбор рабочих параметров установки определяется исходя из физических свойств нагреваемого материала

Главное условие равномерного нагрева по всему объему обрабатываемого материала - это превышение заданной глубины проникновения электромагнитной волны в материал по всей площади поперечного сечения.

Напряженность электрического поля в конденсаторе не является постоянной. В случае когда материал по своей структуре однороден и нет зазора между

ним и обкладками конденсатора, напряжение U_m , приложенное к материалу, равно напряжению U_{pk} , подводимому к рабочему конденсатору. Напряженность электрического поля в материале плоского конденсатора $E_m = U_{pk}/d_m$, где d_m - толщина слоя нагреваемого материала (рис. 1.16, а). Материал в этом случае будет нагреваться равномерно, поскольку удельная мощность, выделяемая по всему объему, будет одинакова.

В производственной практике установки диэлектрического нагрева широко используются для термообработки пористых резин, изделий перед штамповкой, склеиванием термореактивными клеями, для обработки сельхозпродуктов и т. д.

В процессах сушки, сопровождающихся выделением водяных паров или других летучих веществ, напряженность поля в воздушном зазоре в общем случае не должна превышать 1,0-1,5 кВ/см, однако в некоторых процессах нагрева она может достигать и 5,0 кВ/см.

Установки диэлектрического нагрева по рабочим частотам подразделяют на три диапазона частот: установки средневолнового $f = 0,33,0$ МГц), коротковолнового $f = 3-30$ МГц) и метрового $f = 30-30$ МГц) диапазонов (рис. 1.17).

Средневолновые установки применяются для нагрева материалов с большим фактором потерь: это очень влажные изделия небольших размеров. Генераторы данных установок имеют относительно высокий КПД (0,5-0,6) и изготавливаются мощностью до нескольких сотен киловатт. Нагрев ведется при низких удельных мощностях ($p_0 = 0,01— 1,0$ Вт/см³), длительности нагрева в десятки часов и высоком напряжении на рабочем конденсаторе (10-15 кВ).

Коротковолновые установки используют для нагрева материалов со средним значением фактора потерь. Коэффициент полезного действия таких установок составляет 0,4-0,55. Мощность генератора достигает нескольких десятков киловатт, объем одновременно нагреваемого материала небольшой. Удельная мощность $p_0 = 1-100$ Вт/см³. Сушка с испарением длится в течение нескольких часов, без испарения - доли часа. Данные установки удобны при работе с воздушным зазором и для осуществления методического нагрева.

Установки метрового диапазона имеют КПД 0,3-0,4. Они применяются для нагрева материалов с малым значением электрических потерь и могут работать с воздушным зазором. Объем рабочей камеры составляет $p_0 = 0,1-3$ кВт/см³, время нагрева - секунды.

Для установок **сверхвысокой частоты** необходима соизмеримость геометрических размеров колебательных систем с длиной волны используемых колебаний. Колебательная система автогенератора объединена

с генераторной лампой в один вакуумированный блок. Нагрев в электромагнитном поле обеспечивается электромагнитным лучом в волноводе. При нагреве тело находится под воздействием электромагнитного луча рупорной антенны, которой заканчивается волновод. Нагрев в волноводе обеспечивается бегущей волной и предназначен для термообработки листовых материалов, жгутов, лент, жидкостей. В объемных резонаторах нагревают изделия произвольной формы.

Литература:

- Басов А.М. и др. Электротехнология. Учебное пособие. – М.: Агропромиздат, 1985.
- Карасенко В.А. и др. Электротехнология. – М.: Колос, 1992.
- Кудрявцев И.Ф., Карасенко В.А. Электрический нагрев и электротехнология. Учебное пособие.- М.: Колос, 1976.
- Электронагревательные установки в сельскохозяйственном производстве. /Под общ. ред. В.Н. Растригина/. – М.: Агропромиздат, 1985.
- Глушков А.М., Юдаев И.В. Светотехника и электротехнология. ч. 2 «Электротехнология» ФГОУ ВПО «Волгоградская ГСХА». – Волгоград, 2008, (текст).

План работы

1. Ознакомиться с имитационным программированием диэлектрического нагрева сельскохозяйственных материалов в среде программирования (Octave, Scilab)
2. Привести дифференциальное уравнение первого порядка для моделирования процессов нагрева и охлаждения.
3. Написать функцию для расчета и построения кривых при диэлектрическом нагреве и определения параметров динамики нагрева.
4. Рассчитать значения изменения температуры тела при заданных параметрах процесса нагрева.
5. Задавая последовательно десять значений температуры исследуемого тела, построить кривые нагрева с использованием стандартных функций построения графиков в выбранной среде программирования.

Исходные данные (табл. 4.2) выбирать согласно последних цифр зачетки (согласовать с преподавателем). По первому столбцу необходимо выбрать исследуемый материал. По второй- объем тела и конечная температура нагреваемого тела.

Таблица 4.2-Исходные данные для расчета параметров
диэлектрического нагрева исследуемых тел (задачи 4.1-4.2)

	Объем тела, дм**3/Т2-температура конечная, С ⁰								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-Масло	2/1 20	12/12 0	22/12 0	1/12 0	2/50	2/22	2/120	4/120	12/20
2-Кирпич	3/3 20	13/12 0	23/12 0	2/12 0	3/200	3/220	3/120	5/120	13/20 0
3-Зерна пшеницы	4/4 0	14/50	24/35	3/30	4/30	4/22	4/25	6/25	14/25
4-Бетон	5/1 20	15/12 0	25/12 0	4/12 0	5/40	5/220	5/120	7/120	15/20 0
5-Вода	1/6 0	11/56	21/75	2/85	1/95	1/100	1/90	3/80	11/70
6-Мазут	6/2 0	16/30	26/40	5/50	6/60	6/70	6/80	8/90	16/60
7-Семена рапса	2/2 5	12/30	22/35	2/40	2/38	2/36	2/35	4/50	12/25
8-Почва	7/1 30	17/13 0	27/13 0	6/13 0	7/50	7/23	7/130	9/130	17/30
9-мясо (t= -20 С ⁰)	8/9	18/9	28/9	7/9	8/4	8/29	8/9	10/9	18/4
0-молоко	2/5 0	12/50	22/50	1/50	2/30	2/25	2/25	4/50	12/50

Пример составления программы-функции (пакет свободного программирования Octave)

Задача 4.1.

function practic_diel_heat()

% Заготовку из пластмассы требуется нагреть от Т1 =10С до Т2 =800С в рабочем конденсаторе % % установки для диэлектрического нагрева. Время нагрева t=1 мин.
% частота электрического поля f=40,68 МГц. Свойства пластмассы: плотность ro = 1900 кг/м3,

% относительная диэлектрическая проницаемость epsilon_x = 6,

% тангенс угла диэлектрических потерь tg? = 0,05, удельная теплоемкость C = 2100 Дж/(кг•0С).

% Чему равна напряженность электрического поля в нагреваемом материале?

%

clear

T1 = 10; % [град]

T2 = 800; % [град]

delta_tau = 1; %[мин]

f = 40.68; %[МГц]

ro =1900 %[кг/м**3]

tg_delta = 0.05;

epsilon_0 = 8.85 *(1/1000000000000); % [Ф/М]

epsilon_x = 6.0;

C_ud_h_cap = 2100.0; %[Дж/(кг * грд)]

% добавил сам

% m = 1.0% ru

% Найдем значение абсолютной диэлектрической проницаемости вакуума

```

epsilon_a = epsilon_x * epsilon_0;
% найдем мощность установки

delta_P = ro * C_ud_h_cap * ( (T2-T1)/(delta_tau * 60 ) ); % [Вт/м**3] m-
сократилось
E = sqrt( ( delta_P) / ( epsilon_x * epsilon_a * tg_delta * f * 1000000 * 2*3.14) ); %
[кВ/м]

```

Задача 4.2.

% Требуется нагреть пластмассовую заготовку от T1 = 10С до T2 = 800С в рабочем конденсаторе
 % установки для диэлектрического нагрева. Частота электрического поля f = 40,68 МГц,
 % напряженность % электрического поля в нагреваемом материале E = 1 кВ/см. Свойства
 % пластмассы: плотность ? = 2000 кг/м3, удельная
 % теплоемкость C = 2000 Дж/(кг·0С), относительная диэлектрическая проницаемость
 epsilon_x = 6, % тангенс угла диэлектрических потерь tg_delta = 0,04. Определить время
 нагрева заготовки от T1 до T2 .

```

% clear
T1 = 10; % [град]
T2 = 800; % [град]
% delta_tau = 1 % [мин]
f = 40.68; % [МГц]
ro = 2000; % [кг/м**3]
tg_delta = 0.04;
epsilon_0 = 8.85 *(1/1000000000000); % [Ф/М]
epsilon_x = 6.0;
C_ud_h_cap = 2000.0; % [Дж/(кг * грд)]
E = 1; % [кВ/см]
% добавил сам
% m = 1.0 % ru

% Найдем значение абсолютной диэлектрической проницаемости вакуума
epsilon_a = epsilon_x * epsilon_0;
delta_P = (1000 * 1000 * 100 * E * E) * epsilon_x * epsilon_a * tg_delta * f * 1000000 *
2*3.14; % Вт/м**3
delta_tau = ( C_ud_h_cap * ( T2 - T1) ) / delta_P;

```

Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать: изложение цели работы, краткие теоретические сведения, задание по расчету диэлектрического нагревателя с теплофизическими характеристиками исследуемого материала, таблицы с результатами расчетов, выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы:

1. Принцип работы диэлектрического нагревателя;
2. От каких параметров зависит мощность выделяемая в изделии при диэлектрическом нагреве?

3. Для каких материалов может быть использован диэлектрический нагрев;
4. Физика диэлектрического нагрева. Ток смещения и поляризации в диэлектрике?
5. Аналитическое выражение для определения мощности выделяемой при диэлектрическом нагреве.
6. Область использования диэлектрических нагревателей в технологических процессах сельскохозяйственного производства.
7. Как изменяются свойства вещества при диэлектрическом нагреве.

Лабораторная работа №5 - Исследование электрообогревательной панели

Цель работы: Изучить устройство электрообогревательной панели и экспериментально определить ее динамические и энергетические характеристики.

Общие сведения

При использовании оборудования общего отопления, в животноводческих помещениях невозможно создать одинаково комфортные условия микроклимата во всех зонах содержания животных. Чтобы выдержать оптимальные параметры микроклимата для разных возрастных групп и видов животных необходимы устройства местного электрообогрева. В этом случае, при неизменном уровне кормления, в 3...4 раза можно повысить сохранность молодняка, на 10...15 % продуктивность животных и снизить расходы электроэнергии.

Применение средств местного электрообогрева вызвано также их техническими и технологическими преимуществами, такими как возможностью легкой концентрации тепловой энергии в заданном объеме, контроля и регулирования температуры в широком диапазоне с обеспечением большой точности и равномерности температуры и др.

В настоящее время создано и эксплуатируется большое количество местных электрообогревателей, различных как по конструкции, так и по роду создаваемого ими теплового эффекта.

По способу теплопередачи средства местного электрообогрева делят на устройства лучистого, контактного и конвективного действия.

К устройствам конвективного действия можно отнести электрообогревательные панели, предназначенные для отопления производственных и бытовых помещений. Они различаются по способу теплоотдачи (с одно- и двусторонней теплоотдачей); способу установки (настенные, напольные и устанавливаемые в перегородках; типу нагревательного элемента (нагревательный кабель, ТЭН, индукционные нагреватели, провод из высокоомных сплавов, специальные токопроводящие ткани, полупроводниковые пленочные элементы); способу укладки нагревательного элемента (в специальные пустоты, борозды, монолит); материалу наполнителя (бетон, асфальтобетон, текстолит, жаропрочные пластмассы).

В данной работе исследуется электрообогревательная панель выполненная из текстолита, внутри которого запрессован нагревательный высокоомный провод с равномерным шагом укладки (рис. 5.1).

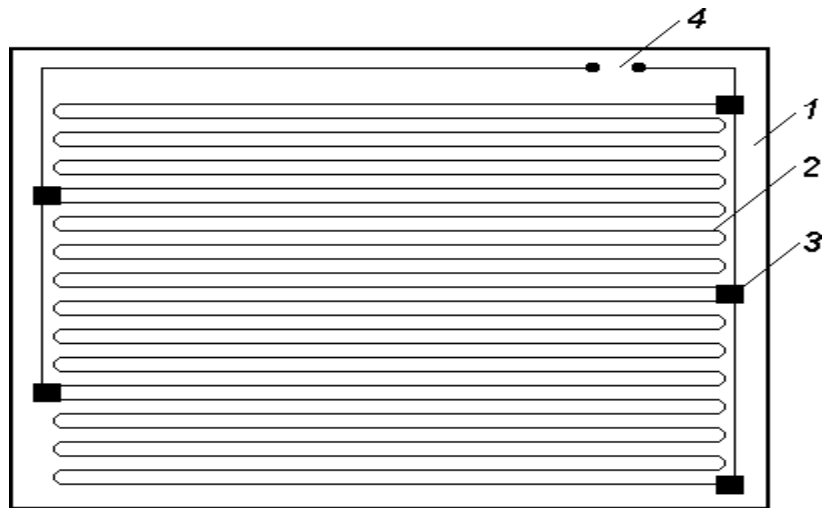


Рисунок 5.1 – Электрообогревательная панель.

1- текстолитовая панель, 2 – нагревательный элемент, 3 – контактная площадка, 4 – вводные клеммы

Подобные панели обладают рядом достоинств: допускается питание сетевым напряжением 220 В; температура равномерно распределена по всей площади нагревателя, обогреватель имеет малую массу и габариты; гигиеничен и способен работать в агрессивной среде животноводческого помещения, имеет высокую термостойкость. Недостаток панели: невозможность ремонта при перегорании нагревательного провода.

Тепловой поток от электронагревательной панели при естественной конвекции определяют по известной формуле Ньютона

$$\Phi_k = \alpha F(t_n - t_v), \quad (5.1)$$

где α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²°C); F – площадь поверхности нагрева, $F = 0,315$ м²; t_n – средняя температура поверхности панели °C; t_v – температура воздуха на большом удалении от поверхности панели, °C.

Тепловой поток излучения в практике инженерных расчетов находят по формуле

$$\Phi_{\text{л}} = E \cdot C_0 \cdot F \cdot ((t_n/100)^4 - (t_v/100)^4) \quad (5.2)$$

где E – степень черноты поверхности тела, $E=0,1$; C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $C_0 = 5,67$ Вт/(м²·K⁴).

Суммарный тепловой поток, переданный нагревательной панелью во внешнюю среду конвекцией и излучением

$$\Phi = \Phi_k + \Phi_{\text{л}}; \quad (5.3)$$

Тепловой поток от нагревательного провода к поверхности панели можно

записать на основе закона Ома для тепловой цепи

$$\Phi_{\text{п}} = \Delta t / R_t$$

где t_{np} – температура поверхности провода, °C; R_t – термическое сопротивление панели, определяемое в соответствии с методикой проведения лабораторной работы №2 с помощью тепловизора testo 885-2, °C/Вт.

Термическое сопротивление панели с двусторонней теплоотдачей внутри которой параллельно уложены несколько цилиндрических нагревателей длиной L рассчитывают по известному в теории теплопередачи выражению [2].

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представлена на рисунке 5.2.

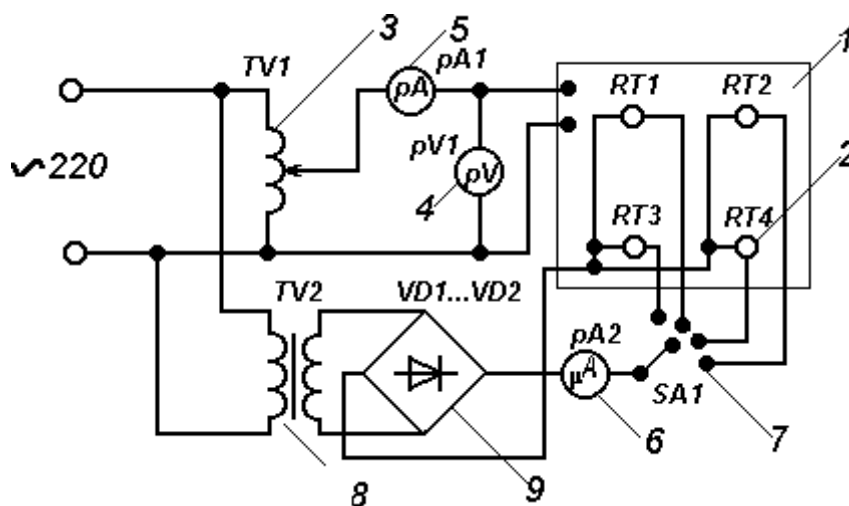


Рисунок 5.2 – Схема лабораторной установки по исследованию параметров электрообогреваемой панели

Она состоит из электронагревательной панели 1, в которой установлены четыре термодатчика 2 (терморезисторы типа ММТ4, $R=33$ кОм). Питание электронагревательной панели осуществляется от автотрансформатора 3, напряжение контролируется вольтметром 4, ток нагрузки – амперметром 5. Температура панели измеряется с помощью термодатчиков 2 подключенных к микроамперметру 6, через переключатель выбора термодатчиков 7. Характеристика терморезистора $t = f(I)$ приведена на рисунке 3. Измерительная система запитана через трансформатор 8 с выпрямительным мостом 9. Температура воздуха измеряется термометром,

расположенным вдали от установки.

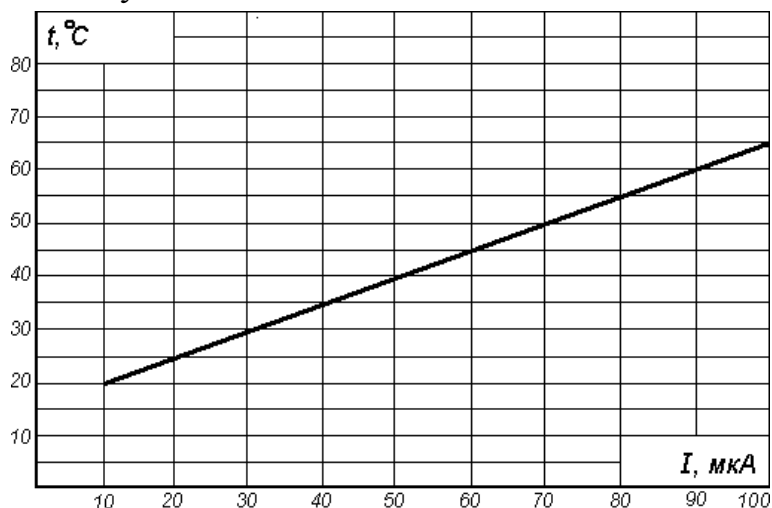


Рисунок 5.3 - Характеристика терморезистора $t = f(I)$

Порядок проведения опытов.

Экспериментальные данные снимают на трех температурных режимах, устанавливаемых при помощи автотрансформатора 3.

1. После изучения опытной установки включают ее и устанавливают первый из трех заданных преподавателем режимов работы.

2. На первом режиме работы снимают кривую нагрева панели. Для этого через каждую минуту в таблицу 5.1 записывают показания термодатчиков $t_1 \dots t_4$. Показания снимают до достижения установившегося режима, о чем свидетельствуют неизменность показаний измерительных приборов.

3. При достижении установившегося режима показания измерительных приборов: амперметра, вольтметра, температурных датчиков $t_1 \dots t_4$, температуры воздуха записывают в таблицу 5.2.

4. Устанавливают второй режим работы и, дождавшись установившейся температуры, записывают показания приборов в таблицу 5.2.

5. Аналогично исследуют работу установки на третьем режиме.

Таблица 5.1 – Протокол измерений параметров электрообогреваемой панели

τ , мин	t_1 , °C	t_2 , °C	t_3 , °C	t_4 , °C	t_{cp} , °C

Таблица 5.2 – Протокол измерений и расчетов

п/п	Измерения								Расчеты				
	I, А	U, В	t ₁ , °С	t ₂ , °С	t ₃ , °С	t ₄ , °С	t _{ср} , °С	t _в , °С	P, Вт	Φ _л , Вт	Φ _к , Вт	α, Вт/м ² ·°С	t _{пр} , °С
1													
2													
3													

Обработка результатов опытов

1. По результатам измерений (таблица 1) построить температурную кривую электронагревательной панели $t = f(\alpha)$.
2. Определить среднюю температуру поверхности панели $t_{ср}$.
3. Из выражения (5.1), с учетом (5.2) и (5.3) определить коэффициент теплоотдачи. Полный тепловой поток принять равным мощности P , $\Phi = P$, $t_n = t_{ср}$.
4. Построить зависимость коэффициента теплоотдачи от средней температуры панели $t_{ср}$, $\alpha = f(t_{ср})$.
5. Определить из (4) температуру поверхности нагревательного провода t_{np} , приняв $\Phi_n = P$.
6. Построить зависимость температуры поверхности нагревательного провода t_{np} от тока нагрузки I , $t_{np} = f(I)$.
7. Результаты расчетов записать в таблицу 5.2.

Содержание отчета

1. Краткое описание работы.
2. Принципиальная схема установки.
3. Протокол измерений и расчетов.
4. Примеры расчетов.
5. Температурная кривая электронагревательной панели $t = f(\tau)$.
6. График зависимости коэффициента теплоотдачи α от средней температуры панели $t_{ср}$, $\alpha = f(t_{ср})$.
7. График зависимости температуры поверхности нагревательного провода t_{np} от тока нагрузки I , $t_{np} = f(I)$.
8. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Для чего используют местный электрообогрев?
2. Перечислите преимущества и недостатки средств местного электрообогрева.
3. Опишите порядок выполнения лабораторной работы.
4. Приведите классификацию средств местного электрообогрева.

5. От каких факторов зависит коэффициент теплоотдачи нагревательной панели?
6. По какому принципу подбирают количество нагревательных панелей?
7. От каких величин зависит интенсивность теплового потока излучения?
8. В чем заключается закон Ома для тепловой цепи?

Литература

1. Карасенко В.А., Заяц Е.М., Баран А.И., Корко В.С. Электротехнология, М.: Колос, 1992 г. с. 66-70.
2. Басов А.И., Быков В.Г., Лаптев А.В., Файн В.Б. Электротехнология, М.: Агро-промиздат, 1985 г. с. 46-68.
3. Кудрявцев И.Ф., Карасенко В.А. Электрический нагрев и электротехнологии. М.: Колос, 1975. с. 23-50.
4. Лабораторный практикум по электротехнологии. / Составители: П.Л. Лекомцев, А.В. Савушкин, О.Г. Долговых, А.М. Ниязов. – Ижевск, ИжГСХА, 2014 – 67 с.

Лабораторная работа №6 - Энергоаудит производственного здания

Цель работы: Изучить нормативные документы и методику проведения энергоаудита жилых зданий

Общие сведения. Основные термины и понятия энергосбережения.

- 1. Теплофизические свойства (ТФС) или теплофизические характеристики (ТФХ) веществ, материалов и изделий** – коэффициенты теплопроводности, температуропроводности, теплоотдачи, теплопередачи, термическое сопротивление теплопередачи, удельная объемная или весовая теплоемкости, степень черноты, температура насыщения. Физический смысл и определения коэффициентов приведены в разд. 2.
- 2. Топливо** – вещество, которое может быть использовано в хозяйственной деятельности для получения тепловой энергии, выделяющейся при его сгорании. Виды, классы, свойства, теплота сгорания органических твердых, жидких, газообразных топлив приведены в разд. 3
- 3. Энергоноситель** – вещество или форма материи, находящиеся в различных агрегатных состояниях (твердое, жидкое, газообразное, плазма, поле, излучение). Энергия этих веществ, при создании определенных условий, используется для целей энергоснабжения.
- 4. Природный энергоноситель** – энергоноситель, образовавшийся в результате природных процессов: вода гидросферы (при использовании энергии рек, морей, океанов); горячая вода и пар геотермальных источников; воздух атмосферы (при использовании энергии ветра); органическое топливо (нефть, газ, уголь, торф, сланцы), биомасса.
- 5. Произведенный энергоноситель** – энергоноситель, полученный как продукт производственного технологического процесса: водяной пар различных параметров котельных установок и других парогенераторов; горячая вода; сжатый воздух, ацетилен; продукты переработки органического топлива и биомассы и т.п.
- 6. Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР)** – совокупность природных и производственных энергоносителей, запасенная энергия которых при существующем уровне развития техники и технологии доступна для использования в хозяйственной деятельности предприятий, транспорта, жилищно-коммунальном комплексе.
- 7. Вторичные топливо-энергетические ресурсы (ВЭР)** – топливо-энергетические ресурсы, полученные как отходы или побочные продукты

(выбросы) производственного технологического процесса.

Вторичные ТЭР встречаются в виде теплоты различных параметров и топлива. К ВЭР относят: нагретые уходящие газы технологических агрегатов; газы и жидкости систем охлаждения; отработанный водяной пар; сбросные воды; вентиляционные выбросы, теплота которых может быть полезно использована. К ВЭР в виде топлива относят: твердые и жидкие отходы, газообразные выбросы нефтеперерабатывающей, нефтедобывающей, химической, целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности, городской мусор и т.п.

8. Первичная энергия – энергия, заключенная в ТЭР.

9. Полезная энергия – энергия, теоретически необходимая (в идеализированных условиях) для осуществления заданных операций, технологических процессов или выполнения работы и оказания услуг.

Примеры определения термина «полезная энергия»:

- в системах освещения – по световому потоку ламп;
- в силовых процессах: для двигательных процессов – по рабочему моменту на валу двигателя; для процессов прямого воздействия – по расходу энергии, необходимой в соответствии с теоретическим расчетом проведения заданных усилий;
- в электрохимических и электрофизических процессах – по расходу энергии, необходимой для проведения заданных условий;
- в термических процессах – по теоретическому расходу энергии на нагрев, кипение, плавку, испарение материала и проведение эндотермических реакций;
- в системах отопления, вентиляции, кондиционирования, горячего водоснабжения, холодоснабжения – по количеству теплоты, полученной потребителями или пользователями;
- в системах преобразования, хранения, транспортировки топливно-энергетических ресурсов – по количеству ресурсов, получаемых из этих систем.

10. Возобновляемые топливно-энергетические ресурсы – природные энергоносители, постоянно пополняемые в результате естественных (природных) процессов.

Возобновляемые ТЭР основаны на использовании:

- источников энергии: солнечного излучения, энергии ветра, рек, морей и океанов, внутренней теплоты Земли, воды, воздуха;
- энергии естественного движения воздуха, водных потоков и существующих в природе градиентов температур и разности плотностей;
- энергии биомассы, получаемой в качестве отходов растениеводства и

животноводства, искусственных лесонасаждений и водорослей;

- энергии от утилизации отходов промышленного производства, твердых бытовых отходов и осадков сточных вод;
- энергии от сжигания растительной биомассы, термической переработки отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности.

11. Энергоустановка – комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенных для производства или преобразования, передачи, накопления, распределения или потребления энергии.

12. Рациональное или эффективное использование ТЭР – использование топливно-энергетических ресурсов, обеспечивающее достижение максимальной при существующем уровне развития техники и технологии эффективности с учетом ограниченности их запасов и соблюдения требований снижения техногенного воздействия на окружающую среду и других требований общества. Понятие «Рациональное использование ТЭР» является общим по сравнению с понятием «Экономное расходование ТЭР» и включает:

- выбор оптимальной структуры энергоносителей, т.е. оптимального количественного соотношения различных используемых видов энергоносителей в установке, на участке, в цехе, на предприятии, в регионе, отрасли, хозяйстве;
- комплексное использование топлива, его теплоты, в том числе и отходов продуктов сгорания топлива в качестве сырья для промышленности (например, использование золы и шлаков в строительстве);
- комплексное использование гидроресурсов рек и водоемов;
- учет возможности использования органического топлива (например нефти) в качестве ценного сырья для промышленности;
- комплексное исследование экспортно-импортных возможностей и других структурных оптимизаций.

13. Экономия ТЭР – сравнительное в сопоставлении с базовым, эталонным значением сокращение потребления ТЭР на производство продукции, выполнение работ и оказание услуг установленного качества без нарушения экологических и других ограничений в соответствии с требованиями общества.

Экономии ТЭР определяют через сравнительное сокращение расхода, а не потребления ТЭР, корреспондирующееся с расходной частью топливно-энергетического баланса конкретным энергопотребляющим объектом (изделием, процессом, работой и услугами).

Эталонные значения расхода ТЭР устанавливаются в нормативных, технических, технологических, методических документах и

утверждаются уполномоченным органом применительно к проверяемым условиям и результатам деятельности.

14. Непроизводительный расход ТЭР – потребление ТЭР, обусловленное несоблюдением или нарушением требований, установленных государственными стандартами, иными нормативными актами, нормативными и методическими документами.

15. Энергосбережение – реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) ТЭР и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

16. Показатель энергосбережения – качественная и (или) количественная характеристика проектируемых или реализуемых мер по энергосбережению.

17. Энергосберегающая политика – комплексное системное проведение на государственном уровне программы мер, направленных на создание необходимых условий организационного, материального, финансового и другого характера для рационального использования и экономного расходования ТЭР.

18. Энергетическое обследование – обследование потребителей ТЭР с целью установления показателей эффективности их использования и выработки экономически обоснованных мер по их повышению.

19. Топливо-энергетический баланс – система показателей, отражающая полное количественное соответствие между приходом и расходом (включая потери и остаток) ТЭР в хозяйстве в целом или на отдельных его участках (отрасль, регион, предприятие, цех, процесс, установка) за выбранный интервал времени.

Термин выражает полное количественное соответствие (равенство) за определенный интервал времени между расходом и приходом энергии и топлива всех видов в энергетическом хозяйстве. Топливо-энергетический баланс является статической характеристикой динамической системы энергетического хозяйства за определенный интервал времени. Оптимальная структура топливо-энергетического баланса является результатом оптимизационного развития энергетического хозяйства.

Топливо-энергетический баланс может состоять из:

- по видам ТЭР (ресурсные балансы);
- по стадиям энергетического потока ТЭР (добыча, переработка, преобразование, транспортировка, хранение, использование);
- по единому или сводному топливо-энергетическому балансу всех видов энергии и ТЭР, и в целом по народному хозяйству;

- по энергетическим объектам (электростанции, котельные), отдельным предприятиям, цехам, участкам, энергоустановкам, агрегатам;
- по назначению (силовые процессы, тепловые, электрохимические, освещение, кондиционирование, средства связи и управления);
- по уровню использования (с выделением полезной энергии и потерь);
- в территориальном разрезе и по отраслям народного хозяйства.

При составлении топливно-энергетического баланса различные виды ТЭР приводят к одному количественному измерению. Процедура приведения к единообразию может производиться:

- по физическому эквиваленту энергии, заключенной в ТЭР, т.е. в соответствии с первым законом термодинамики;
- по относительной работоспособности (эксергии), т.е. в соответствии со вторым законом термодинамики;
- по количеству полезной энергии, которая может быть получена из указанных ТЭР в теоретическом плане для заданных условий.

20. Энергетический паспорт промышленного потребителя ТЭР – нормативный документ, отражающий баланс потребления и показатели эффективности использования ТЭР в процессе хозяйственной деятельности объектом производственного назначения и могущей содержать энергосберегающие мероприятия.

21. Энергетический паспорт гражданского здания – документ, содержащий геометрические, энергетические и теплотехнические характеристики зданий и проектов зданий, ограждающих конструкций и устанавливающий соответствие их требованиям нормативных документов.

22. Энергосберегающая технология – новый или усовершенствованный технологический процесс, характеризующийся более высоким коэффициентом полезного использования ТЭР.

23. Сертификация энергопотребляющей продукции – подтверждение соответствия продукции нормативным, техническим, технологическим, методическим и иным документам в части потребления энергоресурсов топливо- и энергопотребляющим оборудованием.

24. Показатель энергетической эффективности – абсолютный, удельный или относительный параметр потребления или потерь энергетических ресурсов для продукции любого назначения или технологического процесса.

25. Коэффициент полезного использования энергии – отношение всей полезно используемой в хозяйстве (участке, энергоустановке и т.п.) энергии к суммарному количеству израсходованной энергии.

26. Коэффициент полезного действия – отношение полезной энергии к

подведенной; параметр, характеризующий совершенство процесса превращения, преобразования или передачи энергии.

27. Потеря энергии – разность между количеством подведенной (первичной) и потребляемой (полезной) энергии. Потери энергии классифицируются следующим образом:

а) по области возникновения: при добыче, хранении, транспортировке, переработке, преобразовании, при использовании и утилизации;

б) по физическому признаку и характеру:

- потери теплоты в окружающую среду с уходящими топочными газами, технологической продукцией, технологическими отходами, уносами материалов, химическим, механическим и физическим недожогом, охлаждающей водой;
- потери электроэнергии в трансформаторах, дросселях, электропроводах, электродах, линиях электропередач, энергоустановках;
- потери жидкостей и газов с утечками через неплотности;
- гидравлические потери напора при дросселировании и потери на трение при движении жидкости (пара, газа) по трубопроводам с учетом местных сопротивлений;
- механические потери на трение подвижных частей машин и механизмов;

в) по причинам возникновения:

- вследствие конструктивных недостатков,
- в результате неправильной эксплуатации агрегатов и не оптимально выбранного технологического режима работы;
- в результате брака продукции и по другим причинам.

28. Полная энергоемкость продукции – параметр расхода энергии и (или) топлива на изготовление продукции, включая расход на добычу, транспортировку, переработку полезных ископаемых и производство сырья, материалов, деталей с учетом коэффициента использования сырья и материалов.

29. Энергоемкость производства продукции – параметр потребления энергии и (или) топлива на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции, выполнение работ, оказание услуг на базе заданной технологической системы. Практически при производстве любого вида продукции расходуются ТЭР, и для каждого из видов продукции существует соответствующая энергоемкость технологических процессов их производства. При этом энергоемкость технологических процессов производства одних и тех же видов изделий, выпускаемых различными предприятиями, может быть различна.

30. Показатель экономичности энергопотребления изделием – количественная характеристика эксплуатационных свойств, отражающих техническое совершенство конструкции, качество изготовления, уровень или степень потребления энергии и (или) топлива при использовании этого изделия по прямому функциональному назначению.

Показатели экономичности энергопотребления индивидуальны для различных видов изделий. Они характеризуют совершенство конструкции данного вида изделия и качество его изготовления. В качестве показателей экономичности энергопотребления, как правило, следует выбирать удельные показатели.

31. Потребитель топливно-энергетических ресурсов – физическое или юридическое лицо, осуществляющее пользование топливом, электрической энергией и (или) тепловой энергией (мощностью).

32. Организация-энергоаудитор (энергоаудитор) – юридическое лицо (организация, кроме государственных федеральных надзорных органов), осуществляющее энергетическое обследование потребителей ТЭР и имеющее лицензию на выполнение этих работ.

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Задачи энергосбережения определенные в Законе РФ «Об энергосбережении», предполагают реализацию правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование энергетических ресурсов и вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии [54]. В стандарте ГОСТ Р 51387–99 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение» реализованы требования:

- закона РФ «Об энергосбережении»;
- закона РФ «О стандартизации»;
- закона РФ «Об обеспечении единства измерений»;
- закона РФ «Об охране окружающей среды»;
- закона РФ «О лицензировании отдельных видов деятельности»;
- федеральной целевой программы «Энергосбережение России» (1998 – 2005 гг.), утвержденном постановлением Правительства РФ № 80 от 24.01.1998 (ФЦП «Энергосбережение России»);
- постановления Правительства РФ «Положение о Министерстве топлива и энергетики Российской Федерации» № 60 от 27.01.1996 (постановление № 60);

- постановления Правительства РФ № 1009 от 13.08.1997 «Правила подготовки нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти и их государственной регистрации»;
- постановления Правительства РФ № 938 от 12.08.1998 «О государственном энергетическом надзоре в Российской Федерации»;
- правил проведения энергетических обследований организаций, утвержденных Минтопэнерго РФ от 25.03.1998.

В поддержку мероприятий по обеспечению энергосбережения на федеральном и региональном уровнях принято несколько десятков нормативных актов, нормативных и методических документов.

2. Комплекс нормативных и методических документов по обеспечению энергосбережения приведен в ГОСТ Р 51387–99.

Основные нормативные правовые акты:

- закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» № 4871-1 от 27.04.1993;
- закон Российской Федерации «О сертификации продукции и услуг» № 5153-1 от 14.06.1993;
- закон Российской Федерации «О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации» № 41-ФЗ от 14.04.1995;
- закон Российской Федерации «Об энергосбережении» № 28-ФЗ от 3.04.1996;
- закон Российской Федерации «О стандартизации» № 5154-1 от 10.06.1996;
- закон Российской Федерации «О лицензировании отдельных видов деятельности» № 158-ФЗ от 25.09.1998;
- постановление Правительства Российской Федерации № 965 от 26.09.1995 «Положение о лицензировании в энергетике» РД 4.38.128–95;
- постановление Правительства Российской Федерации № 1006 от 13.10.1995 «Об энергетической стратегии России»;
- постановление Правительства Российской Федерации № 1087 от 2.11.1995 «О неотложных мерах по энергосбережению».

3. Основное назначение ГОСТ Р 51387–99 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение» – системно упорядочить активно развивающиеся процессы нормативно-методического обеспечения энергосбережения на федеральном, региональном (субъектов РФ), ведомственном и локальном уровнях с использованием принципов, учитывающих рыночные условия хозяйствования.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Энергосбережение в теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях необходимо сориентировать по нескольким основным направлениям:

в системах электроснабжения, в вопросах теплообмена, в теплогенерирующих установках, котельных и тепловых сетях, в теплотехнологиях, в зданиях и сооружениях, а также за счет использования вторичных ресурсов и альтернативных источников энергии.

1. Энергосбережение в системах электроснабжения включает системы освещения, электротехники и электроники, электрические сети, электрические машины и аппараты, системы электрохимзащиты оборудования и трубопроводов промышленных предприятий и объектов жилищнокоммунального хозяйства.

2. Энергосбережение в вопросах теплообмена базируется на законах теплопроводности, конвективного, лучистого и сложного теплообмена. Теплотехника – отрасль знаний, изучающая теорию и технические средства превращения энергии природных источников в тепловую, механическую и

электрическую энергии, а также теорию и средства использования теплоты для отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, технологических нужд промышленности и ЖКХ.

Энергосбережение затрагивает вопросы интенсификации теплопередачи в теплообменных аппаратах, стационарной и нестационарной теплопроводности при различных граничных условиях, при внутреннем тепловыделении и наличии фильтрации, теплообмена излучением между телами и в газах, при кипении и конденсации [13].

Изучение законов преобразования теплоты в другие виды энергии и теплообмена позволяют постигнуть основы работы различного рода тепловых, теплогенерирующих и теплотехнологических установок, тепловых двигателей и нагнетателей.

3. Энергосбережение в теплогенерирующих установках затрагивает вопросы расчета паровых и водогрейных котельных агрегатов, электродных котлов, гелиоустановок, геотермальных установок, котловутилизаторов, теплонасосных установок. Разработка методик расчета теплогенерирующих установок (ТГУ), горения, теплового баланса, топочных камер, конвективных поверхностей нагрева, расхода топлива, позволяют выбрать наиболее экономичный и энергосберегающий вариант работы теплогенератора.

Классификация и устройство теплогенерирующих установок, обзор паровых, водогрейных, электродных котлов, гелиоустановок, вопросы эксплуатации котельных агрегатов, топочных устройств, оборудования водоподготовки, арматуры, контрольно-измерительных приборов и системы автоматики подробно описаны в монографиях [10, 11].

4. Энергосбережение в производственных и отопительных котельных

основывается на проектировании и расчете рациональных тепловых схем котельных для закрытых и открытых систем теплоснабжения, экономии энергоресурсов при работе паровых и водогрейных котельных установок, экономии и сбережения воды в котельной, использовании современных приборов регулирования, контроля, управления и экономии энергоресурсов при эксплуатации котельных.

Разработка методик и основных положений работы тепловых схем производственно-отопительных котельных, с паровыми и водогрейными котлами, расчета и подбора теплоэнергетического оборудования (теплообменников, насосов, тягодутьевых машин и др.), определения тепловых нагрузок и расхода топлива, позволяют выбрать наиболее экономичный и энергосберегающий вариант их работы. В монографии [12] подробно описаны тепловые схемы отопительных и производственно-отопительных котельных с паровыми и водогрейными котлами, приведены расчеты этих схем, что позволяет выбрать наиболее экономичный и энергосберегающий вариант их работы.

5. Энергосбережение в тепловых сетях касается вопросов повышения качества воды для систем теплоснабжения, использования современных теплообменников на тепловых пунктах, установки приборов расхода воды и учета теплоты, применения современных технологий тепловой изоляции, замены элеваторных узлов на смесительные установки с датчиками температуры и расхода.

В настоящее время следует экономически обосновать и договориться между производителями и потребителями тепловой энергии, администрациями и предприятиями о том, при какой тепловой мощности потребителей экономичнее применять централизованную или децентрализованную систему теплоснабжения.

6. Энергосбережение в теплотехнологиях охватывает разработку критериев энергетической оптимизации при производстве, передаче или сбережения тепловой энергии, баланса теплоты, интенсификации процессов теплопередачи, современных способов сжигания топлива, использования паротурбинных, газотурбинных, холодильных установок, тепловых насосов и тепловых трубок, эффективной тепловой изоляции, разработку методик расчета технико-экономических показателей. Реализация новых и коренная модернизация действующих теплотехнологических систем возможны на базе современных технологических, энергетических, научно-методических и организационных основ.

7. Энергосбережение в зданиях и сооружениях строится на сбережении теплоты в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Энергосбережение в зданиях и сооружениях включает в себя различные устройства: вентилируемых наружных стен, вентилируемых окон, трехслойного или теплоотражающего (в инфракрасном излучении) остекления, дополнительного утепления наружных ограждений, теплоизоляции стен за отопительным прибором, застекленных лоджий. Кроме того, для энергосбережения в зданиях и сооружениях возможно применение воздушного отопления от гелиоустановок, а также с использованием теплонасосных установок и энергии низкого потенциала (конденсата, воды, воздуха).

В промышленных зданиях и сооружениях в дополнении к этому возможно применение газовых инфракрасных излучателей, периодического режима отопления, локального обогрева рабочих площадок теплотой рециркуляционного воздуха из верхней зоны помещения, прямое испарительное охлаждение воздуха, вращающихся регенеративных воздуховоздушных утилизаторов теплоты.

8. Энергосбережение за счет использования альтернативных (нетрадиционных и возобновляемых) источников энергии опирается на применении солнечных коллекторов и электростанций, тепловых насосов, гелиоустановок, фотоэлектрических и ветроэнергетических установок.

9. Энергосбережение за счет использования вторичных энергоресурсов (ВЭР) требует использования горючих, тепловых и ВЭР избыточного давления. Горючие – отходы технологических процессов термохимической переработки углеродистого сырья, горючие городские и сельскохозяйственные отходы. Тепловые – теплоносители, способные при определенных условиях выделять определенное количество теплоты. ВЭР избыточного давления – газы и жидкости, покидающие технологические аппараты под избыточным давлением и способные передать другому теплоносителю часть накопленной потенциальной энергии перед сбросом в окружающую среду.

Расчёт энергетического паспорта здания

Весь расчет основан на **СНиП 41-01-2003** «Отопление, вентиляция и кондиционирование»; **СНиП 23-01 –99**** «Строительная климатология»; **СНиП 23-02-2003** «Тепловая защита зданий»; **СП 23-101-2004** «Проектирование тепловой защиты зданий»; **ТСН 23-340-2003** Санкт-Петербург «Нормативы по энергопотреблению и теплозащите»; **ГОСТ 30494-96** «Здания жилые общественные. Параметры микроклимата в помещениях»; **ГОСТ 12.1.005-88** ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; **СанПиН 2.1.2.1002-00** «Санитарно-

эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям».

Описание здания:

Трёх-пятиэтажное общественное здание, реконструируемое в г. К... (задается индивидуально преподавателем). Здание состоит из двух угловых торцевой секции. Общее назначение здания – культурно-зрелищное. Фундамент – ленточный, каменный. Стены кирпичные самонесущие, оштукатуренные. Окна с двойным остеклением в деревянных раздельно-спаренных переплетах. Крыша двухскатная, покрытая кровельной оцинкованной сталью. Чердак холодный. Цокольный этаж не отапливаемый, полы по грунту. Здание подключено к централизованной системе теплоснабжения имеет одно и двух трубную систему отопления с термостатами и без, с авторегулированием на вводе.

Программа работы

1. Изучить рекомендуемую литературу и нормативные документы.
2. Изучить проектно-техническую документацию жилого дома (системы отопления и вентиляции)
3. Определить основные теплофизические параметры строительных конструкций
4. Выполнить расчеты по установлению теплового баланса здания и проверить на соответствия нормативным показателям по энергосбережению

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭНЕРГОАУДИТА ЗДАНИЯ

Общая информация

Адрес здания: –

Разработчик проекта – нет данных;

Адрес и телефон разработчика – нет данных

Шифр проекта -18.0311-Р18-Эн.

Расчетные условия

1. Расчетная температура внутреннего воздуха $t_{int} = 20^{\circ}\text{C}$

Расчетная относительная влажность внутреннего воздуха из условия невыпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных ограждений равна $\omega_{int} = 55\%$

Для расчета принято: $t_{int} = 20^{\circ}\text{C}$

2. Расчетная температура наружного воздуха $t_{ext} = -26^{\circ}\text{C}$

Для расчета принято: $t_{ext} = -26^{\circ}\text{C}$

3. Расчетная температура теплого чердака $t_c = 14^{\circ}\text{C}$

Для расчета принято: в данном примере теплый чердак отсутствует.

4. Расчетная температура «теплого» подвала $t_p = 2^\circ\text{C}$

Для расчета принято: в данном примере «теплый» подвал отсутствует.

5. Продолжительность отопительного периода $z_{ht} = 220$ сут.

Для расчета принято: $z_{ht} = 220$ сут.

6. Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{ht} = -1,8^\circ\text{C}$

Для расчета принято: $t_{ht} = -1,8^\circ\text{C}$

7. Градусо-сутки отопительного периода $D_d = 4796^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht}, \text{ где}$$

$$t_{int} = 20^\circ\text{C}, \quad t_{ht} = -1,8^\circ\text{C}, \quad z_{ht} = 220 \text{ сут}$$

Для расчета принято: $D_d = (20 + 1,8) \times 220 = 4796^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$.

Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания

8. Назначение – общественное

9. Размещение в застройке - отдельно-стоящее

10. Тип –многоэтажные

11. Конструктивное решение –кирпичное.

Геометрические показатели

12. Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания $A_e^{sum} = 4450 \text{ м}^2$

Площадь стен, включающих окна, балконные и входные двери в здание, витражи, A_{w+F+ed} , м^2 , определяется по формуле

$$A_{w+F+ed} = p_{st} \cdot H_h + A_s = 3480 \text{ м}^2 \quad \text{где } p_{st} = 165 \text{ м}; \quad H_h = 20 \text{ м}; \quad A_s = 180 \text{ м}^2$$

Площадь наружных стен A_w , м^2 , определяется по формуле

$$A_w = A_{w+F+ed} - A_F = 2811 \text{ м}^2 \quad \text{где } A_F = 669 \text{ м}^2$$

Площадь окон и балконных дверей $A_F = 646 \text{ м}^2$

Площадь входных дверей и ворот $A_{ed} = 23 \text{ м}^2$

Площадь чердачных перекрытий (холодного чердака) $A_C = 748 \text{ м}^2$

Площадь перекрытий над техподпольями $A_f = 891 \text{ м}^2$

Площадь пола по грунту $A_{fl} = 1178 \text{ м}^2$,

Общая площадь наружных ограждающих конструкций A_e^{sum} определяется по формуле

$$A_e^{sum} = A_{w+F+ed} + A_C + A_f = 2811 + 748 + 891 = 4450 \text{ м}^2$$

13. Площадь квартир $A_h = \text{нет}$

14. Полезная площадь (общественных зданий) $A_l = 3230 \text{ м}^2$

15. Площадь жилых помещений $A_l = \text{нет}$

16. Расчетная площадь (общественных зданий) $A_l = 2726 \text{ м}^2$

17. Отапливаемый объем здания $V_h = A_{st} \cdot H_h = 19413 \text{ м}^3$, где $A_{st} = 971 \text{ м}^2$
 $H_{hi} = 20 \text{ м}$

18. Коэффициент остекленности фасадов здания $f = 0,18$

$$f = A_F / A_{w+F+ed} = 669 / 3480 = 0,19 < p^{req} = 0,25$$

19. Показатель компактности здания $k_e^{des} = 0,23$

$$k_e^{des} = A_e^{sum} / V_h = 4450 / 19413 = 0,23 < k_e^{req} = 0,36 \text{ где } A_e^{sum} = 4450 \text{ м}^2, V_h = 19413 \text{ м}^3$$

Результаты расчета геометрических показателей представлены в табл. 6.1

Теплоэнергетические показатели

Данный раздел включает теплотехнические и энергетические показатели.

Теплотехнические показатели

20. Приведенное сопротивление теплопередачи наружных ограждений R_o , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$

Нормируемое сопротивление теплопередачи стен, покрытий и перекрытий над проездами, определяется:

$$R_{req} = a D_d + b, \text{ где}$$

$$D_d = 4796 \text{ °C} \cdot \text{сут}$$

$$\text{стен } a = 0,00035 \quad b = 1,4 \\ = 3,08$$

$$R_{req} = a D_d + b = 0,00035 \cdot 4796 + 1,4$$

$$\text{покрытий } a = 0,0005 \quad b = 2,2 \\ = 4,6$$

$$R_{req} = a D_d + b = 0,0005 \cdot 4796 + 2,2 =$$

$$\text{перекрытий } a = 0,00045 \quad b = 1,9 \\ = 4,06$$

$$R_{req} = a D_d + b = 0,00045 \cdot 4796 + 1,9$$

Для расчета принято:

- $D_d = 4796 \text{ °C} \cdot \text{сут.}$
- **стен $R_w = 3,513 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт};$**
- **покрытий (совмещенных) $R_c = 4,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт};$**

Для окон, балконных дверей,

$$a = 0,000075, \quad b = 0,15; \\ 0,15 = 0,51$$

$$R_{req} = a D_d + b = 0,000075 \cdot 4796 +$$

Для расчета принято:

- $D_d = 4796 \text{ °C} \cdot \text{сут.}$
- **окон и балконных дверей $R_F = 0,51 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт};$**

Нормируемое сопротивление теплопередачи для входных дверей определяется

$$R_{req} = R_{req} \cdot 0,6 \quad \text{где} \quad R_{req} = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \alpha_{int}}$$

$$n = 1; \Delta t_n = 4,5 \text{ }^{\circ}\text{C}; t_{int} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}; t_{ext} = -26 \text{ }^{\circ}\text{C}; \alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

Для расчета принято:

$$- D_d = 4796 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут.}$$

$$- \text{входных дверей и ворот } R_{ed} = 0,6 \cdot n \cdot (t_{int} - t_{ext}) / \Delta t_n \cdot \alpha_{int} = 0,6 \cdot 1 \cdot (20 + 26) / 4,5 \cdot 8,7 = 0,8 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

Нормируемые значения сопротивления теплопередаче перекрытий:

Для расчета принято:

$$- D_d = 4796 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут.}$$

$$- \text{чердачных перекрытий (холодных чердаков) } R_c = 4,06 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

$$- \text{перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями } R_f = 4,06 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

Нормируемые значения сопротивления теплопередаче полов по грунту:

Для расчета принято:

$$- \text{полов по грунту } R_f = 4,06 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

21. Приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания

$$K_m^{tr} = 0,601 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$K_m^{tr} = \beta (A_w/R_w^r + A_F/R_F^r + A_{ed}/R_{ed}^r + A_c/R_c^r + n_f A_f/R_f^r) / A_e^{sum}, \text{ где}$$

$$\beta = 1,13 \quad n = 1 \quad n_f = (t_{int} - t_f) / (t_{int} - t_{ext}) = (20 - 2) / (20 + 26) = 0,4$$

$$A_e^{sum} = 4450 \text{ м}^2$$

$$A_w = 2811 \text{ м}^2, R_w = 3,513 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

$$A_F = 646 \text{ м}^2, R_F = 0,51$$

$$\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

$$A_{ed} = 23 \text{ м}^2, R_{ed} = 0,8 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

$$A_c = 748 \text{ м}^2, R_c = 4,06$$

$$\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

$$A_f = 891 \text{ м}^2, R_f = 4,06 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

Для расчета принято:

$$K_m^{tr} = 1,13(2811/3,513 + 646/0,51 + 23/0,8 + 748/4,06 + 0,4 \cdot 891/4,06) / 4450 = 0,601 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

Таблица 6.1- Геометрические показатели здания

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Расчетное (проектное) значение показателя	Фактическое значение показателя
1	2	3	4	5	6
Геометрические показатели					
12	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания в том числе:	A_e^{sum}, m^2	-	4450	
	стен	A_w, m^2	-	2811	
	окон и балконных дверей	A_F, m^2	-	646	
	витражей	A_F, m^2	-	-	
	фонарей	A_F, m^2	-	-	
	входных дверей и ворот	A_{ed}, m^2	-	23	
	покрытий (совмещенных)	A_c, m^2	-	-	
	чердачных перекрытий (холодного чердака)	A_c, m^2	-	748	
	перекрытий теплых чердаков	A_c, m^2	-	-	
	перекрытий над тех подпольями	A_l, m^2	-	891	
	перекрытий над не отапливаемыми подвалами или подпольями	A_l, m^2	-	-	
	перекрытий над проездами и под эркерами	A_l, m^2	-	-	
	пола по грунту	A_l, m^2	-	782	
13	Площадь квартир	A_h, m^2	-	-	
14	Полезная площадь (общественных зданий)	A_l, m^2	-	3230	
15	Площадь жилых помещений	A_l, m^2	-	-	
16	Расчетная площадь (общественных зданий)	A_l, m^2	-	2726	
17	Отапливаемый объем (во внутренних габаритах)	V_h, m^3	-	19413	
18	Коэффициент остекленности фасада здания	$ $	$< 0,25$	0,19	
19	Показатель компактности здания	κ_e^{des}, m^2	$< 0,32$	0,23	

22. Кратность воздухообмена здания за отопительный период $n_a = 0,955$ ч⁻¹

Для общественных зданий:

$$n_a = [(L_v \cdot n_v) / 168 + (G_{inl} \cdot k \cdot n_{inl}) / (168 \cdot \rho_a^{ht})] / (\beta_v \cdot V_h), \text{ где}$$

$$L_v = 6 \cdot 2726 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad \beta_v = 0,85; \quad n_v = 112 \text{ ч}; \quad k = 0,7; \quad n_{inf} = 168; \quad V_h = 19413 \text{ м}^3$$

$$\rho_a^{ht} = 353 / [273 + 0,5(t_{int} + t_{ext})] = 353 / [273 + 0,5(20+26)] = 1,19 \text{ кг/м}^3,$$

$$G_{inf} = 0,5 \cdot \beta_v \cdot V_h = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 19413 = 8250,5 \text{ кг/ч}$$

Для расчета принято:

$$\begin{aligned} n_a &= [(L_v \cdot n_v) / 168 + (G_{inf} \cdot k \cdot n_{inf}) / (168 \cdot \rho_a^{ht})] / (\beta_v \cdot V_h) = \\ &= [(16356 \cdot 112) / 168 + (8250,5 \cdot 0,7 \cdot 168) / (168 \cdot 1,19)] / (0,85 \cdot 19413) \\ &= 0,955 \text{ ч}^{-1}. \end{aligned}$$

23. Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции $K_m^{inf} = 0,909 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$

$$K_m^{inf} = 0,28 \cdot c \cdot n_a \cdot \beta_v \cdot V_h \cdot \rho_a^{ht} \cdot k / A_e^{sum}, \text{ где}$$

$$c = 1 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)} \quad n_a = 0,955 \text{ ч}^{-1} \quad \beta_v = 0,85 \quad V_h = 19413 \text{ м}^3 \quad \rho_a^{ht} = 1,19 \text{ кг/м}^3 \\ A_e^{sum} = 4450 \text{ м}^2 \quad k = 0,7$$

$$\text{Для расчета принято: } K_m^{inf} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,955 \cdot 0,85 \cdot 19413 \cdot 1,31 \cdot 0,7 / 4450 = 0,909 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

24. Общий коэффициент теплопередачи здания $K_m = 1,51 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$

$$K_m = K_m^{tr} + K_m^{inf}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}, \text{ где } K_m^{tr} = 0,601 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \quad K_m^{inf} = 0,909 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)},$$

$$\text{Для расчета принято: } K_m = 0,601 + 0,909 = 1,51 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Энергетические показатели

25. Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период $Q_h = 2\,784\,389 \text{ МДж}$

$$Q_h = 0,0864 \cdot K_m \cdot D_d \cdot A_e^{sum}, \text{ МДж, где}$$

$$K_m = 1,51 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}, \quad D_d = 4796 \text{ °C} \cdot \text{сут}, \quad A_e^{sum} = 4450 \text{ м}^2$$

$$\text{Для расчета принято: } Q_h = 0,0864 \cdot 1,51 \cdot 4796 \cdot 4450 = 2\,784\,389 \text{ МДж}$$

26. Удельные бытовые тепловыделения в здании $q_{int} = 12 \text{ Вт/м}^2$

$$\text{Для расчета принято: } q_{int} = 12 \text{ Вт/м}^2$$

27. Бытовые тепlopоступления в здание за отопительный период $Q_{int} = 621\,790 \text{ МДж}$

$$Q_{\text{int}} = 0,0864 \cdot q_{\text{int}} \cdot z_{\text{ht}} \cdot A_l, \text{ МДж, где}$$

$$q_{\text{int}} = 12 \text{ Вт/м}^2 \quad z_{\text{ht}} = 220 \text{ сут} \quad A_l = 2726 \text{ м}^2$$

Для расчета принято: $Q_{\text{int}} = 0,0864 \cdot 12 \cdot 220 \cdot 2726 = 621\,790 \text{ МДж}$

28. Теплопоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период $Q_s = 102\,876 \text{ МДж}$

$$Q_s = \tau_F \cdot k_F \cdot (A_{F1} \cdot I_1 + A_{F2} \cdot I_2 + A_{F3} \cdot I_3 + A_{F4} \cdot I_4) + \tau_{\text{scy}} \cdot k_{\text{scy}} \cdot A_{\text{scy}} \cdot I_{\text{hor}}, \text{ где}$$

$$\tau_F = 0,5 \quad \tau_{\text{scy}} = \text{нет} \quad k_F = 0,7 \quad k_{\text{scy}} = \text{нет}$$

$$A_{F1} = 323 \text{ м}^2 \quad A_{F2} = 323 \text{ м}^2 \quad 18.0311\text{-P18-Эн}$$

Для расчета принято: $Q_s = 0,5 \cdot 0,7 \cdot (455 \cdot 323 + 455 \cdot 323) = 102\,876 \text{ МДж}$

29. Потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период $Q_h^y = 1\,582\,691 \text{ МДж}$

$$Q_h^y = [Q_h - (Q_{\text{int}} + Q_s) \cdot v \cdot \zeta] \cdot \beta_h, \text{ МДж, где}$$

$$Q_h = 2\,784\,389 \text{ МДж}, \quad Q_{\text{int}} = 621\,790 \text{ МДж}, \quad Q_s = 102\,876 \text{ МДж},$$

$$v = 0,8 \quad \zeta = 0,85 \quad \beta_h = 1,13$$

Для расчета принято: $Q_h^y = [2\,784\,389 - (621\,790 + 102\,876) \cdot 0,8 \cdot 0,85] \cdot 1,13 = 1\,582\,691 \text{ МДж}.$

Коэффициенты

30. Расчетный коэффициент энергетической эффективности системы централизованного теплоснабжения здания от источника теплоты $\varepsilon_0^{\text{des}} = 0,5$

В данном проекте здание подключено к существующей системе централизованного теплоснабжения, поэтому принимают $\varepsilon_0^{\text{des}} = 0,5$.

31. Расчетный коэффициент энергетической эффективности поквартирных и автономных систем централизованного теплоснабжения здания от источника теплоты ε_{des} = в данном проекте этих систем нет

32. Коэффициент эффективности авторегулирования $\zeta = 0,85$

$\zeta = 0,85$ - в однотрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;

33. Коэффициент учета встречного теплового потока $k = 0,7$

Для расчета принято: $k = 0,7$

34. Коэффициент учета дополнительного теплopotребления $\beta_h = 1,13$

Для расчета принято: $\beta_h = 1,13$

35. Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания

$$q_h^{des} = 102,17 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут})$$

$$q_h^{des} = 10^3 \cdot Q_h^y / (A_h \cdot D_d), \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}), \text{ где}$$

$$Q_h^y = 1\,582\,691 \text{ МДж}$$

$$A_h = 3230 \text{ м}^2$$

$$D_d = 4\,796 ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$$

Для расчета принято: $q_h^{des} = 10^3 \cdot 1\,582\,691 / (3230 \cdot 4\,796) = 102,17$
кДж/(м²·°C·сут)

36. Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление здания

$$q_h^{des} = 76 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут})$$

Для расчета принято: $q_h^{des} = 76,0 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут})$

37. Класс энергетической эффективности - «D» - низкий

В рассматриваемом проекте: расч. $q_h^{des} = 102,17 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут})$; норм. $q_h^{des} = 76,0 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут})$

$$\text{Величина отклонения } (102,17 - 76/76) \cdot 100\% = 34\%$$

Принимаем классы энергетической эффективности зданий класс «D» - низкий, желательна реконструкция здания.

38. Соответствует ли проект здания нормативному требованию «Да»

39. Дорабатывать ли проект здания «Нет»

Обработка результатов обследования энергоэффективности здания
проводится с использованием системы программирования GNU Scilab -
Energopasport

```
//*****
//*****Имя программы: Energopasport*****
//*****Автор: *****
//*****
// Ввод исходных данных
Tint=input('Расчетная температура внутреннего воздуха: ')
Text=input('Расчетная температура наружного воздуха: ')
Tc=input('Расчетная температура теплого чердака : ')
T=input('Расчетная температура «теплого» подвала: ')
Zht=input('Продолжительность отопительного периода : ')
Tht=input('Средняя температура наружного воздуха за отопительный период : ')

Dd=(Tint-Tht)*Zht//Градусо-сутки отопительного периода.
disp(Dd, "Градусо-сутки отопительного периода [°C*сут.]")

Pst=input('Периметр стены: ')
Nh=input('Высота стены: ')
As=input('Площадь: ')

Awfed=Pst*Nh+As//Площадь стен, включающих окна, балконные и входные двери в
здание, витражи
disp(Awfed, "Площадь стен, включающих окна, балконные и входные двери в здание,
витражи")

AF=input('Площадь окон и балконных дверей: ')
Aed=input('Площадь входных дверей и ворот: ')
Ac=input('Площадь чердачных перекрытий (холодного чердака): ')
Af=input('Площадь перекрытий над техподпольями: ')
Af1=input('Площадь пола по грунту: ')

AF1=AF+Aed//Площадь окон, балконных дверей, входных дверей и ворот.
Aw=Awfed-AF1//Площадь наружных стен
disp(Aw, "Площадь наружных стен")

Aesum=Aw+Ac+Af
disp(Aesum, "Общая площадь наружных ограждающих конструкций [м^2]")

Ah=input('Площадь квартир:')
Ak=input('Полезная площадь (общественных зданий):')
Am=input('Площадь жилых помещений:')
Al=input('Расчетная площадь (общественных зданий): ')
Ast=971//
Vh=Ast*Nh
disp(Vh, "Отапливаемый объем здания:")

//Теплотехнические показатели
a1=0.00035;
b1=1.4;
```

```

a2=0.0005;
b2=2.2;
a3=0.00045;
b3=1.9;
a4=0.000075;
b4=0.15;
Rw=a1*Dd+b1//Нормируемое сопротивление теплопередачи стен
Rc=a2*Dd+b2//Нормируемое сопротивление теплопередачи покрытий
Rx=a3*Dd+b3//Нормируемое сопротивление теплопередачи перекрытий
Rf=a3*Dd+b3//Нормируемое сопротивление теплопередачи перекрытий
RF=a4*Dd+b4//Нормируемое сопротивление теплопередачи окон, балконных дверей.
n=1;
Tn=4.5;
alphaint=8.7;//Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих
конструкций
Red=0.6*(n*(Tint-Text))/(Tn*alphaint)//Нормируемое сопротивление теплопередачи для
входных дверей

disp(Rw, "Нормируемое сопротивление теплопередачи стен:")
disp(Rc, "Нормируемое сопротивление теплопередачи покрытий:")
disp(Rx, "Нормируемое сопротивление теплопередачи перекрытий:")
disp(RF, "Нормируемое сопротивление теплопередачи окон, балконных дверей:")
disp(Red, "Нормируемое сопротивление теплопередачи для входных дверей:")
disp(Rx, "Нормируемое сопротивление теплопередачи для чердачных перекрытий
(холодных чердаков)")
disp(Rf, "Нормируемое сопротивление теплопередачи для перекрытий над
неотапливаемыми подвалами или подпольями")

b=1.13;//Коэффициент учета дополнительного теплоснабжения
nf=(Tint-T)/(Tint-Text)

Kmtr=b*(Aw/Rw+Af/RF+Aed/Red+Ac/Rx+nf*Af/Rf)/Aesum//Приведенный
трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания
disp(Kmtr, "Приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания")

Lv=6*Al;//
bv=0.85;//
nv=112;//
k=0.7;//Коэффициент учета встречного теплового потока
nin=168;//Коэффициент инфильтрации
paht=353/(273 + 0.5*(Tint - Text))
Ginf = 0.5*bv*Vh
nin=168;//
na=(( Lv*nv ) / 168 + ( Ginf*k*nin ) / ( 168*paht ) ) / ( bv*Vh )//Кратность воздухообмена
здания за отопительный период
disp(na, "Кратность воздухообмена здания за отопительный период ")

c=1;//
na=0.955;//
Kminf = 0.28*c*na*bv*Vh*paht*k/Aesum//Условный коэффициент теплопередачи здания,
учитывающий теплотери за счет инфильтрации и вентиляции

```

disp(Kminf, "Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции")

$K_m = K_{mtr} + K_{minf}$ //Общий коэффициент теплопередачи здания
disp(Km, "Общий коэффициент теплопередачи здания")

//Энергетические показатели

$Q_h = 0.0864 * K_m * D_d * A_{sum}$ //Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период

disp(Qh, "Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период")

qint=12; //Удельные бытовые тепловыделения в здании

$Q_{int} = 0.0864 * q_{int} * Z_{ht} * A_l$

disp(Qint, "Бытовые тепlopоступления в здание за отопительный период ")

tF=0.5; //

kF=0.7; //

AF1 = 323; //

AF2 = 323; //

I1=455; //

I2=455; //

$Q_s = tF * kF * (AF1 * I1 + AF2 * I2)$ //Тепlopоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период

disp(Qs, "Тепlopоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период")

v=0.8; //

z=0.85; //Коэффициент эффективности авторегулирования (0.85 - в однотрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе)

bh=1.13; //

$Q_{hy} = (Q_h - (Q_{int} + Q_s) * v * z) * bh$ //Потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период

disp(Qhy, "Потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период")

Содержание отчета.

1. Краткое описание объекта исследования (теплофизические характеристики).
2. Основные компоновочные решения по теплозащите здания.
3. Текст адаптированной под задачу программы расчета основных показателей энергоэффективности здания
4. Распечатка файла с исходными данными и результаты расчета показателей энергоэффективности здания.
5. Выводы по работе о соответствии (не соответствии) уровня теплозащиты здания..

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ЗДАНИЯ

Общая информация

Дата заполнения	<i>25 июня 2014 года</i>
Адрес здания Разработчик проекта Адрес и телефон разработчика Шифр проекта	<i>г. К...</i> <i>18.0311-Р18-Эн</i>

Расчетные условия

№ п.п.	Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура внутреннего воздуха	t_{int}	$^{\circ}\text{C}$	+ 20
2	Расчетная температура наружного воздуха	t_{ext}	$^{\circ}\text{C}$	- 26
3	Расчетная температура теплого чердака	t_c	$^{\circ}\text{C}$	-
4	Расчетная температура тех подполья	t_{\downarrow}	$^{\circ}\text{C}$	-
5	Продолжительность отопительного периода	Z_{ht}	сут	220
6	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	t_{ht}	$^{\circ}\text{C}$	- 1,8
7	Градусо-сутки отопительного периода	D_d	$^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$	4796

Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания

8	Назначение	<i>Общественное</i>
9	Размещение в застройке	<i>Отдельно стоящее</i>
10	Тип	<i>Многоэтажные (реконструированное)</i>
11	Конструктивное решение	<i>Кирпичное</i>

Геометрические и теплотехнические показатели

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Расчетное (проектное) значение показателя	Фактическое значение показателя
1	2	3	4	5	6

Геометрические показатели

12	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания в том числе:	A_e^{sum}, m^2	-	4450	
	стен	A_w, m^2	-	2811	
	окон и балконных дверей	A_F, m^2	-	646	
	витражей	A_F, m^2	-	-	
	фонарей	A_F, m^2	-	-	
	входных дверей и ворот	A_{ed}, m^2	-	23	
	покрытий (совмещенных)	A_c, m^2	-	-	
	чердачных перекрытий (холодного чердака)	A_c, m^2	-	748	
	перекрытий теплых чердаков	A_c, m^2	-	-	
	перекрытий над тех подпольями	A_l, m^2	-	891	
	перекрытий над не отапливаемыми подвалами или подпольями	A_l, m^2	-	-	
	перекрытий над проездами и под эркерами	A_l, m^2	-	-	
	пола по грунту	A_l, m^2	-	782	
13	Площадь квартир	A_h, m^2	-	-	
14	Полезная площадь (общественных зданий)	A_l, m^2	-	3230	
15	Площадь жилых помещений	A_l, m^2	-	-	
16	Расчетная площадь (общественных зданий)	A_l, m^2	-	2726	
17	Отапливаемый объем (во внутренних габаритах)	V_h, m^3	-	19413	
18	Коэффициент остекленности фасада здания		$< 0,25$	0,19	
19	Показатель компактности здания	κ_e^{des}, m^2	$< 0,32$	0,23	

Теплоэнергетические показатели

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Расчетное (проектное) значение показателя	Фактическое значение показателя
1	2	3	4	5	6

Теплотехнические показатели					
20	Приведенное сопротивление теплопередачи наружных ограждений: стен окон и балконных дверей витражей фонарей входных дверей и ворот покрытий (совмещенных) чердачных перекрытий (холодных чердаков) перекрытий теплых чердаков (включая покрытие) перекрытий над тех подпольями перекрытий над не отапливаемыми подвалами или подпольями перекрытий над проездами и под эркерами пола по грунту	R_o^r , $m^2 \cdot ^\circ C / Bt$ R_w R_F R_F R_F R_{ed} R_c R_c R_c R_l R_l R_l R_l	 3,08 0,51 - - 0,81 - - - - - - 4,06	 3,513 0,51 - - 0,80 - - - - 4,06 - - - 4,06	
21	Приведенный коэффициент теплопередачи здания	K_m^{tr} , $Bt / (m^2 \cdot ^\circ C)$	-	0,601	
22	Кратность воздухообмена здания за отопительный период Кратность воздухообмена здания при испытании (при 50 Па)	$n_a, \text{ч}^{-1}$ $n_{50}, \text{ч}^{-1}$	- -	0,955 -	
23	Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции	K_m^{inl} , $Bt / (m^2 \cdot ^\circ C)$	-	0,909	
24	Общий коэффициент теплопередачи здания	K_m , $Bt / (m^2 \cdot ^\circ C)$	-	1,51	
Теплоэнергетические показатели					
№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Расчетное (проектное) значение показателя	Фактическое значение показателя
1	2	3	4	5	6

Энергетические показатели

25	Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период	Θ_h , МДж	-	2 784 389	
26	Удельные бытовые тепловыделения в здании	θ_{int} , Вт/м ²	не менее 10	12	
27	Бытовые теплопоступления в здание за отопительный период	Θ_{int} , МДж	-	621 790	
28	Теплопоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период	Θ_s , МДж	-	102 876	
29	Потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период	Θ_h^y МДж	-	1 582 691	

Коэффициенты

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Фактическое значение показателя
30	Расчетный коэффициент энергетической эффективности системы централизованного теплоснабжения здания от источника теплоты	ε_o^{des}	0,5	
31	Расчетный коэффициент энергетической эффективности поквартирных и автономных систем централизованного теплоснабжения здания от источника теплоты	ε_{dec}	-	
32	Коэффициент эффективности авторегулирования	ζ	0,85	
33	Коэффициент учета встречного теплового потока	κ	0,7	
34	Коэффициент учета дополнительного теплопотребления	β_h	1,13	

Комплексные показатели

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Фактическое значение показателя
--------	------------	--	---------------------------------	---------------------------------

35	Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания	$\theta_{h,des}^{des}$ кДж/(м ² ·°C.сут)	-	102,17
36	Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление здания	$\theta_{h,reg}^{re\theta}$ кДж/(м ² ·°C.сут) кДж/(м ³ ·°C.сут)	76,0	
37	Класс энергетической эффективности	D	«Низкий»	
38	Соответствует ли проект здания нормативному требованию		Да	
39	Дорабатывать ли проект здания		Нет	

Указания по повышению энергетической эффективности

40	Рекомендуем:
----	--------------

41	Паспорт заполнен	
	Организация Адрес и телефон Ответственный исполнитель	

Контрольные вопросы

1. Цель проведения энергоаудита здания.
2. Отличие энергоаудита производственных(животноводческое помещение) и коммунально-бытовых зданий.
3. Нормируемое сопротивление теплопередачи для коммунально-бытовых потребителей в зоне Сибири().
4. Классы энергетической эффективности зданий.
5. Перечислите основные мероприятия направленные на повышение уровня энергоэффективности здания производственных и коммунально-бытовых зданий.

6. Основные направления энергосбережения в сельскохозяйственном производстве.

Литература

1. Теплотехнический расчет наружных ограждений произведен по нормативным требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
2. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»,
3. СП 23 –101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»
4. СТО 00044807-001-2006 «Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий

Лабораторная работа №7- Изучение приборов и систем учета тепловой энергии

Цель работы: Изучить систему учета потребляемой тепловой энергии и практические методы работы по ведению отчетности по потребленной тепловой энергии.

Программа работы

1. Изучение нормативных документов по учету тепловой энергии потребителями.
2. Изучение первичных преобразователей –датчиков расхода теплоносителя, давления и температуры входящих в комплект узлов учета тепловой энергии.
3. Изучение правил монтажа элементов системы учета тепловой энергии.
4. Освоение программирования технологических контроллеров по учету тепловой энергии.
5. Изучения устройства систем телеизмерения теплофизических параметров режима потребления тепловой энергии.
6. Освоение документооборота при эксплуатации систем учета тепловой энергии.

Описание объекта изучения узлов учета и управления потребления тепловой энергии – узлы учета тепловой энергии НГАУ. Тепловые узлы студгородка НГАУ.

Порядок проведения занятий:

- изучение проектно-эксплуатационной документации по узлам учета тепловой энергии НГАУ;
- изучение технической базы установленных систем учета тепловой энергии;
- приобретение навыков программирования технологических контроллеров по учету и управлению потреблением тепловой энергии.

Общие сведения по системам учета и управления потреблением тепловой энергии.

Установка узла учета потребления теплоносителя выгодна при:

- систематическом несоблюдении поставщиком утвержденного графика теплоснабжения, (недотопках);
- неэффективном потреблении тепловой энергии, потребителем, (температура обратной воды, возвращаемой поставщику, превышает установленную утвержденным графиком теплоснабжения);

- высоких потерях тепловой энергии, при транспортировке до потребителя, (плохая или отсутствующая теплоизоляция трубопроводов);
- большое количество потребителей теплоносителя на данном трубопроводе;
- малые расходы теплоносителя на ГВС при большом условном диаметре трубопровода ГВС.

Целью установки узлов коммерческого учета расхода тепла у потребителей является снижение денежных затрат потребителей.

Установка приборов учета сама по себе не приводит к снижению затрат. Снижение затрат осуществляется благодаря экономии энергоресурсов, которая обеспечивается внедрением энергосберегающих мероприятий:

- ликвидацией неэффективных малоиспользуемых приемников тепла;
- утеплением и устранением разгерметизации, отапливаемых зданий;
- ликвидацией непроизводительных потерь энергии;
- автоматическим регулированием теплопотребления и др.

Эти мероприятия осуществляются на основании данных, предоставляемых узлом учета.

Группы учета тепловой энергии.

Потребители, тепловой энергии, в зависимости от принятой в них согласно правилам учета тепловой энергии системы коммерческого учета делятся на 3 группы учета.

1. Потребители первой группы учета платят по показаниям теплосчетчиков за физически потребленное тепло. Поэтому, денежная экономия и энергосберегающий эффект от внедренных мероприятий, могут быть, выявлены наиболее полно.

2. Потребители второй группы учета, платят за тепло, которое рассчитывается по физическому количеству теплоносителя (по показаниям водосчетчиков), помноженному на разность усредненных, за расчетный период температур воды в подающем и обратном трубопроводах, измеренных на источнике тепла. Такой метод расчета, хотя и требует меньше затрат на приборы, однако является менее точным. При этом отсутствие измерения фактического теплопотребления в большинстве случаев не стимулирует потребителей данной группы к энергосбережению на своих объектах.

3. Потребители третьей группы учета платят за тепло, рассчитываемое исходя из теплового баланса всей системы теплоснабжения или по согласования с ТСО по их расчетной тепловой нагрузке.

При полном отсутствии затрат на приборы учета этот метод расчета является наименее точным и в большинстве случаев обуславливает

существенное увеличение затрат на тепло по сравнению с методами расчета для первой и второй групп. Прежде всего, это связано с завышенным договорным значением расчетной тепловой нагрузки по сравнению с реальным ее значением. Кроме того, полностью исключены какие-либо стимулирующие факторы для внедрения энергосберегающих мероприятий. Поэтому третья группа учета рекомендуется, как правило, как временная.

Учет потребления теплоносителя.

С целью обеспечения взаимозачетом между поставщиком и потребителем тепловой энергии за предоставленные услуги по теплоснабжению необходимо постоянно контролировать качественные и количественные характеристики теплоносителя. Сбор, хранение и, при необходимости, передача данных о расходовании теплоносителя потребителем осуществляется с применением технических средств коммерческого учета тепла.

Определения и термины используемые при выполнении работ по энергоучету.

Узел учета потребления тепла.

Общая схема установки приборов и устройств, которые обеспечивают измерение и учет тепловой энергии, объема (массы) потребляемого теплоносителя, а также контроль, регистрацию, хранение и передачу измерительных параметров представлена на рис. 7.1–7.3.

Узел учета включает в себя также схемы питания приборов и устройств, кабельные линии, щитовое оборудование и коммутационную аппаратуру, запорную арматуру и участки трубопроводов, оказывающих влияние на метрологические характеристики (точность измерения) приборов учета.

Тепловой пункт.

Комплекс устройств, расположенный в обособленном помещении, состоящий из элементов тепловых энергоустановок, обеспечивающих присоединение этих установок к тепловой сети, их работоспособность, управление режимами теплопотребления, трансформацию, регулирование и учет параметров теплоносителя.

Виды тепловых пунктов:

Индивидуальный тепловой пункт используется для обслуживания одного потребителя (здания или его части). Как правило располагается в подвальном или техническом помещении здания.

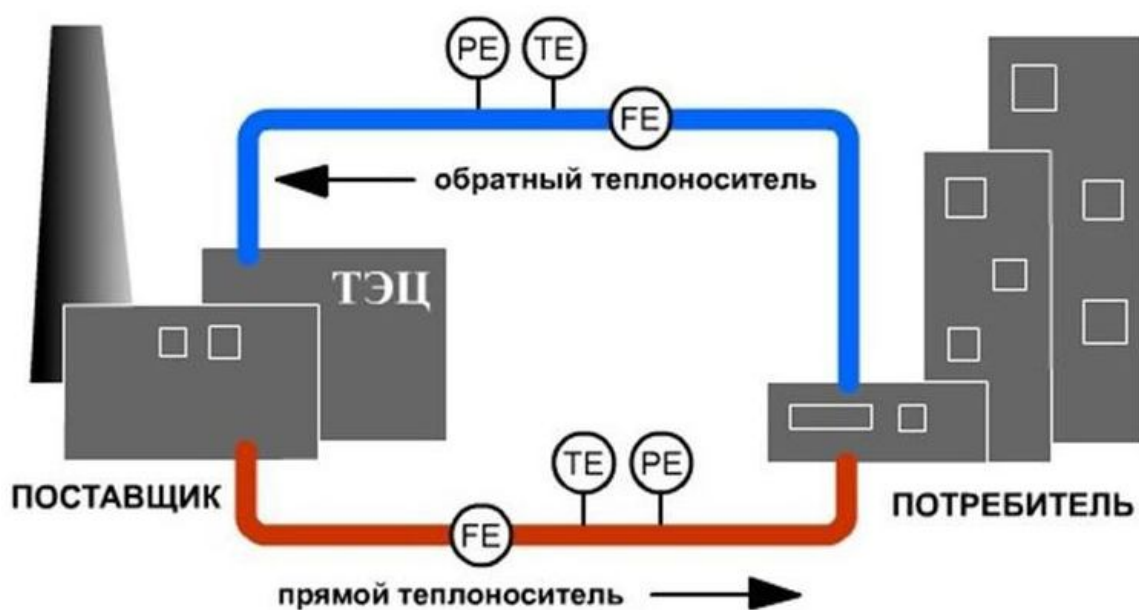


Рисунок 7.1-Общая схема системы потребитель-поставщик тепловой энергии (FE-датчики расхода теплоносителя, TE-датчики температуры)

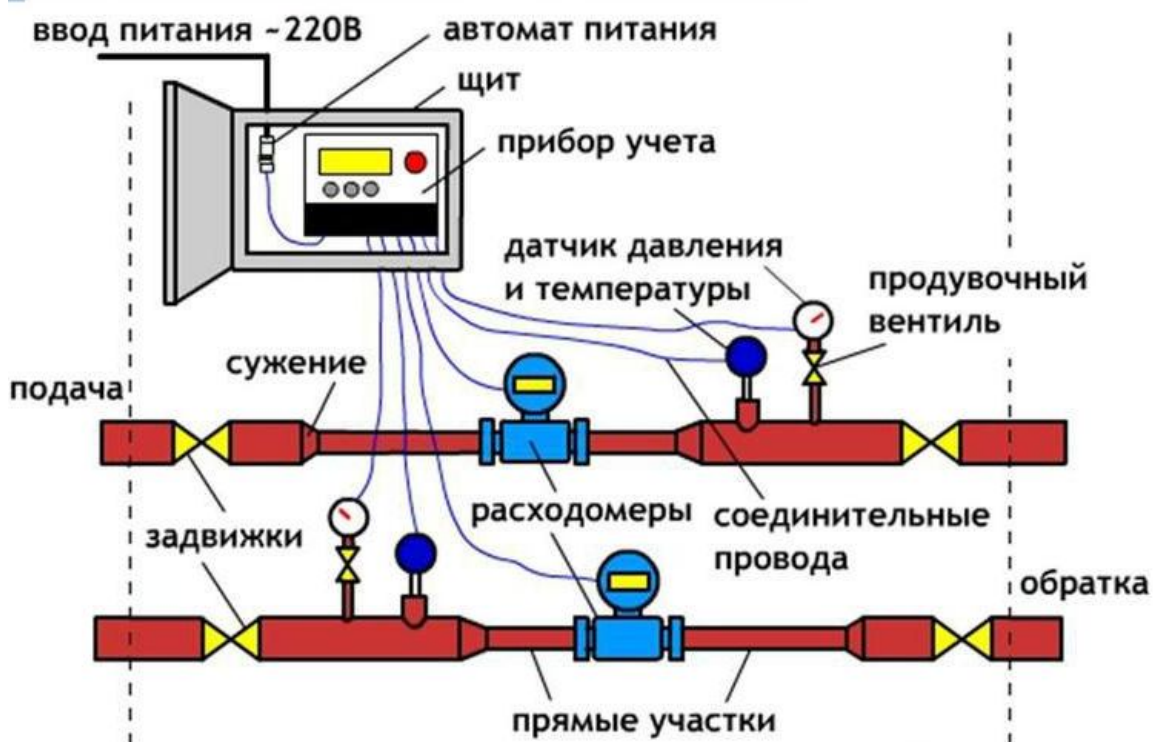


Рисунок 7.2- Монтажная схема узла учета потребления тепловой энергии

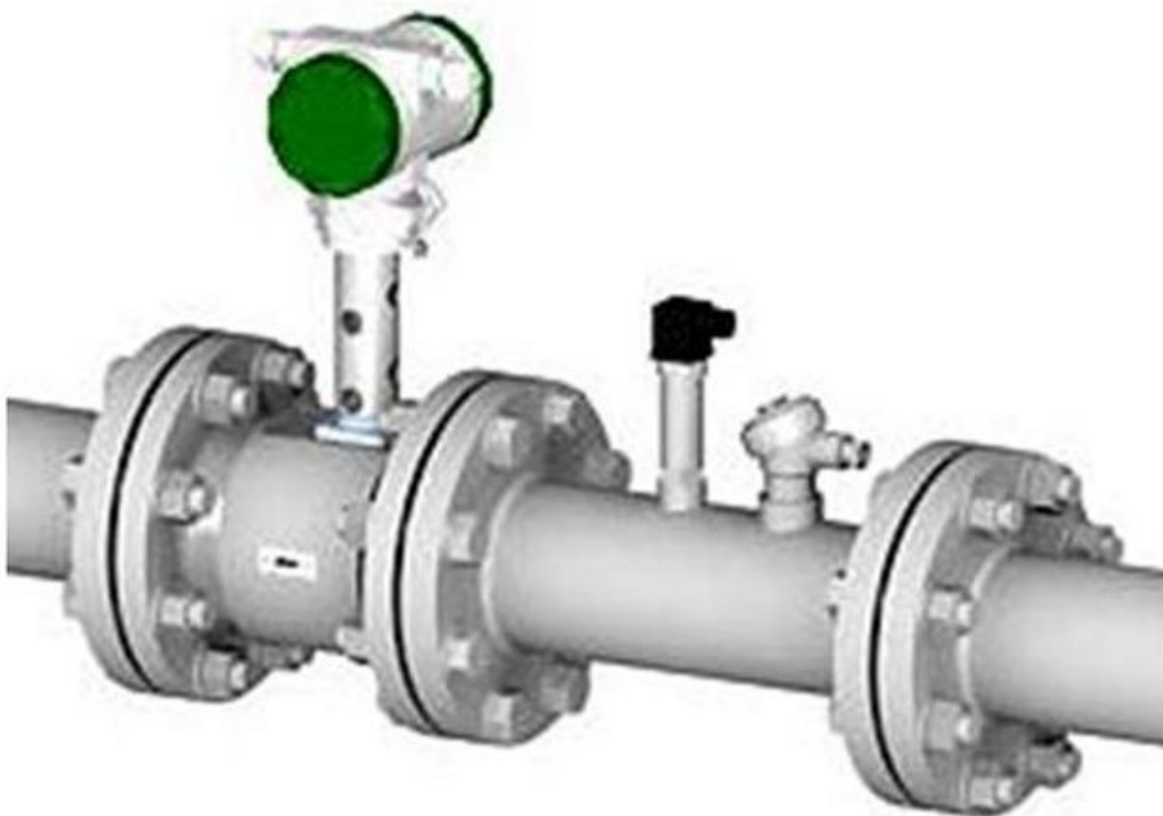


Рисунок 7.3- Пример монтажа измерительных приборов на трубопроводе

Центральный тепловой пункт используется для обслуживания группы потребителей (зданий или объектов). Чаще всего располагается в отдельно стоящем сооружении.

Блочный тепловой пункт изготавливается в заводских условиях, и поставляется на место, последующей эксплуатации, собранным в виде одного или, нескольких блоков. Чаще всего, используется совместно с модульной котельной установкой.

Классификация систем теплоснабжения потребителей представлена на рис. 7.4.

Расчетные схемы (алгоритм) для определения потребленной тепловой энергии для различных систем теплоснабжения представлены на рис. 7.5.

Регламентирующие документы по выполнению работ по энергоучету.

1. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя (1995г.).
2. Федеральный закон от 27 июля 2010 года № 190-ФЗ "О теплоснабжении".
3. Правила эксплуатации теплопотребляющих установок и тепловых сетей потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации теплопотребляющих установок и тепловых сетей потребителей (утв. Госэнергонадзором РФ 7 мая 1992 г.).

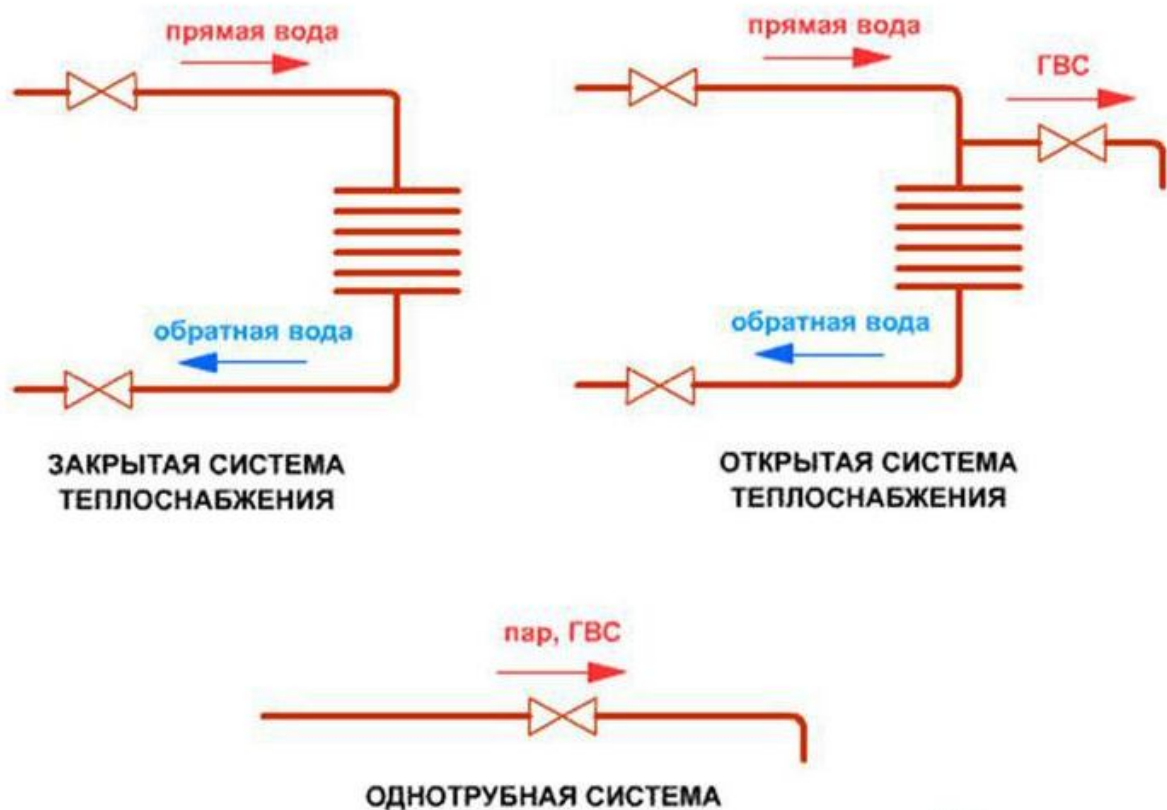


Рисунок 7.4- Классификация систем теплоснабжения потребителей

№	Схема потребления	Расчетные формулы
0		$V1 = C1 \cdot N1; V2 = C2 \cdot N2$ $\Delta t = t1 - t2$ $M1 = \rho1 \cdot V1; M2 = \rho2 \cdot V2; M3 = M1 - M2$ $Q = M1 \cdot (h1 - h2) + (M1 - M2) \cdot (h2 - hx)$ $Qr = M3 \cdot (h3 - hx)$
1		$V1 = C1 \cdot N1; V2 = C2 \cdot N2; V3 = C3 \cdot N3$ $\Delta t = t1 - t2$ $M1 = \rho1 \cdot V1; M2 = \rho2 \cdot V2; M3 = \rho3 \cdot V3$ $Q = M1 \cdot (h1 - h2) + M3 \cdot (h2 - hx)$ $Qr = M3 \cdot (h3 - hx)$
2		$V1 = C1 \cdot N1; V2 = C2 \cdot N2; V3 = C3 \cdot N3$ $\Delta t = t1 - t2$ $M1 = \rho1 \cdot V1; M2 = \rho2 \cdot V2$ $M3 = M1 - M2 + \rho2 \cdot V3$ $Q = M1 \cdot (h1 - h2) + M3 \cdot (h2 - hx)$

№	Схема потребления	Расчетные формулы
8		$V1 = C1 \cdot N1; V2 = C2 \cdot N2; V3 = C3 \cdot N3$ $\Delta t = t1 - t2$ $M1 = \rho1 \cdot V1; M2 = \rho2 \cdot V2; M3 = \rho3 \cdot V3$ $Q = M1 \cdot (h1 - h2) + (M1 - M2) \cdot (h2 - hx) + M3 \cdot (h3 - hx)$ $Qr = M3 \cdot (h3 - hx)$
9		$V1 = C1 \cdot N1; V2 = C2 \cdot N2; V3 = C3 \cdot N3$
10		$V2 = C2 \cdot N2; V3 = C3 \cdot N3$ $\Delta t = t1 - t2$ $M2 = \rho2 \cdot V2; M1 = M2; M3 = \rho3 \cdot V3$ $Q = M1 \cdot (h1 - h2) + M3 \cdot (h2 - hx)$ $Qr = M3 \cdot (h3 - hx)$

Рисунок 7.5- Алгоритмы расчета количества потребленной тепловой энергии

4.ПБ 10-573-03.Правила устройства и безопасности эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды.

5.СниП 2.04.01-85.Внутренний водопровод и канализация здания.

6..Методика определения количества тепловой энергии и теплоносителя в водяных системах коммунального теплоснабжения МДС 41-4.2000(утв.приказом Госстроя РФ от 6 мая 2000 г. № 105).

Мероприятия по устройству узла учета.

Получение технических условий на монтаж узла учета в энергоснабжающей организации.

Разработка проектно-сметной документации на установку узла учета тепловой энергии.

Согласование проектной документации на узел учета тепловой энергии в энергоснабжающей организации.

Комплектация узла учета тепловой энергии требуемой оборудованием.

Монтажные, электромонтажные и пуско-наладочные работы.

Пробная эксплуатация узла учета в течение 72 часов.

Сдача узла учета потребления тепловой энергии в эксплуатацию, подписание акта.

Вместо проектной документации для монтажа и эксплуатации приборов учета теплоэнергии в некоторых случаях **достаточно исполнительной схемы.**

Исполнительная схема заверяется Потребителем и энергоснабжающей организацией для получения юридического статуса. Согласование и заверение, исполнительной схемы (в отличие от проектной документации) происходит бесплатно.

Монтаж оборудования осуществляется в соответствии с требованиями предприятий, изготовителей, изложенными в инструкциях по монтажу и эксплуатации.

После приемки в эксплуатацию вопросы, связанные с монтажом, не имеют юридического смысла, так как данный монтаж узаконен Актом приемки.

Для энергоснабжающей организации необходимы следующие сведения:

- место установки на объекте (учет всей нагрузки Потребителя);
- способы контроля исправности приборов в период эксплуатации (отсюда требование, установки двух расходомеров в "закрытой" системе отопления);
- размер измерительных (прямых) участков;
- нижний и верхний предел измерений применяемых расходомеров.

Измеряемые параметры теплоносителя

Температура прямого и обратного теплоносителя.

Давление прямого и обратного теплоносителя.

Объемный расход прямого и обратного теплоносителя.

Температура и давление холодного источника.

Вычисляемые параметры теплоносителя

Энтальпия прямого и обратного теплоносителя.

Массовый расход прямого и обратного теплоносителя.

Тепловая мощность прямого и обратного теплоносителя

Вычисляемые параметры теплоносителя

Энтальпия теплоносителя

$$h \text{ [ккал/кг]} = C_p \text{ [ккал/кг]} * t[\text{гр.С}]$$

Массовый расход теплоносителя

$$G[\text{т/ч}] = \rho[\text{кг/м}^3] * V[\text{м}^3] * 10^{-3}$$

Тепловая мощность теплоносителя

$$Q [\text{Гкал}] = G[\text{т/ч}] * h[\text{ккал/кг}] * 10^{-0.003}$$

Требования к метрологическим характеристикам приборов учета.

Теплосчетчики должны обеспечивать **измерение тепловой энергии горячей воды** с относительной погрешностью не более:

+ - 5% при разности температур в подающем и обратном трубопроводах от 10 до 20 гр.С

+ - 4% при разности температур в подающем и обратном трубопроводах более 20 гр.С

Теплосчетчики должны обеспечивать **измерение тепловой энергии пара** с относительной погрешностью не более:

+ - 5% в диапазоне расхода пара от 10 до 30%

+ - 4% в диапазоне расхода пара от 30 до 100%

Водосчетчики должны обеспечивать **измерение массы (объема) теплоносителя** с относительной погрешностью не более + - 2% в диапазоне расхода воды и конденсата от 4 до 100%.

Счетчики пара должны обеспечивать **измерение массы теплоносителя** с относительной погрешностью не более + - 3% в диапазоне расхода пара от 10% до 100%.

Для прибора учета, регистрирующего **температуру теплоносителя**, абсолютная погрешность, измерения температуры, t , гр.С, не должна превышать значения, определяемых по формуле:

$$\Delta t = \pm (0,6 + 0,004 * t), ^\circ\text{C}$$

Приборы учета, регистрирующие давление теплоносителя, должны обеспечивать измерение давления с относительной погрешностью не более 2%.

Медными ТС чаще всего измеряют температуру воды, платиновыми – температуру пара.

На узлах учета, как правило, применяют комплекты датчиков термосопротивлений – пары ТС с идентичными градуировочными характеристиками. Достаточно жесткие правила монтажа термометров сопротивления на узлах учета(рис. 7.6)



Рисунок 7.6- Примеры исполнения датчиков температуры теплоносителя

Пример монтажа датчика температуры представлен на рис. 7.7.

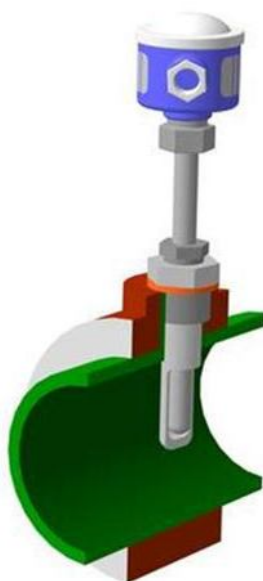


Рисунок 7.7-Монтаж термометра сопротивления на трубопроводе

Датчики давления используемые на узлах учета используются как показывающие (обыкновенный манометр для визуального контроля давления) так и электронные с токовым (как правило на 4-20 мА).

На паропроводах в целях безопасности дополнительно устанавливают стеклянные ртутные термометры в защитной арматуре (рис. 7.8), защищающей от механических повреждений. Для защиты термометра сопротивления от воздействия скоростного напора потока жидкости или пара их монтируют в трубопровод с применением защитных

гильз. В гильзу наливается масло.



Рисунок 7.8- Защитные гильзы используемые при монтаже термометра сопротивления на трубопроводе

Датчики термосопротивления могут подключаться по двух, трех и четырехпроводной схеме (рис. 7.9). Недостатком двухпроводной схемы является отсутствие компенсации сопротивления соединительных проводов, что дополнительно вносит погрешность в измерение температуры. При трехпроводной схеме не компенсируется сопротивление только одного провода – вносимая погрешность в два раза ниже, чем у двухпроводной схемы. Четырехпроводная схема полностью компенсирует дополнительную погрешность.

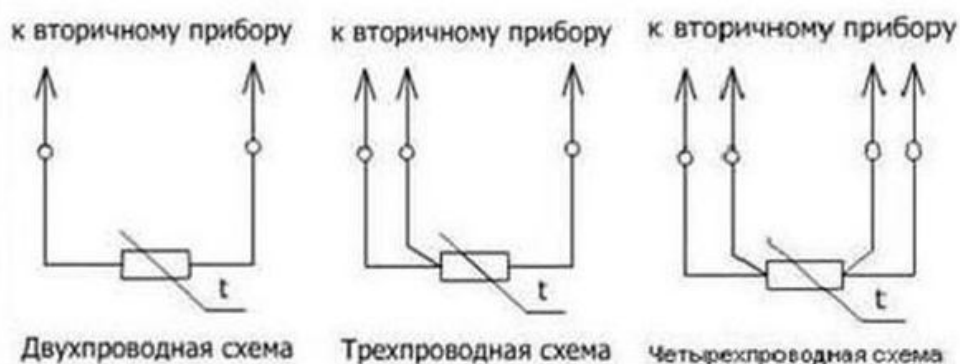


Рисунок 7.9- Схемы подключения термосопротивления

Для измерения давления среды применяют датчики избыточного давления с токовым выходом (рис. 7.10). Чаще всего используются датчики давления с фиксированным диапазоном измерения (однопредельные).

Датчики давления присоединяют к трубопроводу посредством отбора давления с вентильным блоком. Вентильный блок служит для продувки и отсоединения датчика давления от процесса. Отбор давления, отбор давления, имеющего изогнутую форму выполняет демпфирующую функцию, сглаживая пульсации давления.



Рисунок 7.10 –Примеры исполнения датчиков давления

При измерении давления пара рекомендуется использовать датчики давления с охладителем -радиатором для защиты электроники от перегрева. При монтаже датчика давления ниже места отбора необходимо учитывать что столб жидкости в импульсной трубе внесет погрешность в измерение.

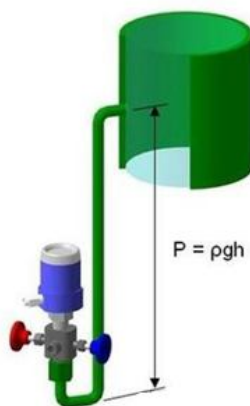


Рисунок 7.11 – Монтаж датчиков давления на паропроводах

Датчики давления используемые на узлах учета используются как показывающие (обыкновенный манометр для визуального контроля давления) так и электронные с токовым (как правило на 4-20 мА).

Наиболее технически сложным устройством на узле учета тепловой

энергии является расходомер – прибор для определения массового или объемного расхода теплоносителя.

Основные типы применяемых расходомеров:

- тахометрические (крыльчатые, турбинные);
- вихревые;
- ультразвуковые;
- переменного перепада давления (диафрагмы, сопла Вентури);

Каждый тип расходомера имеет свою область использования (рис 7.12)

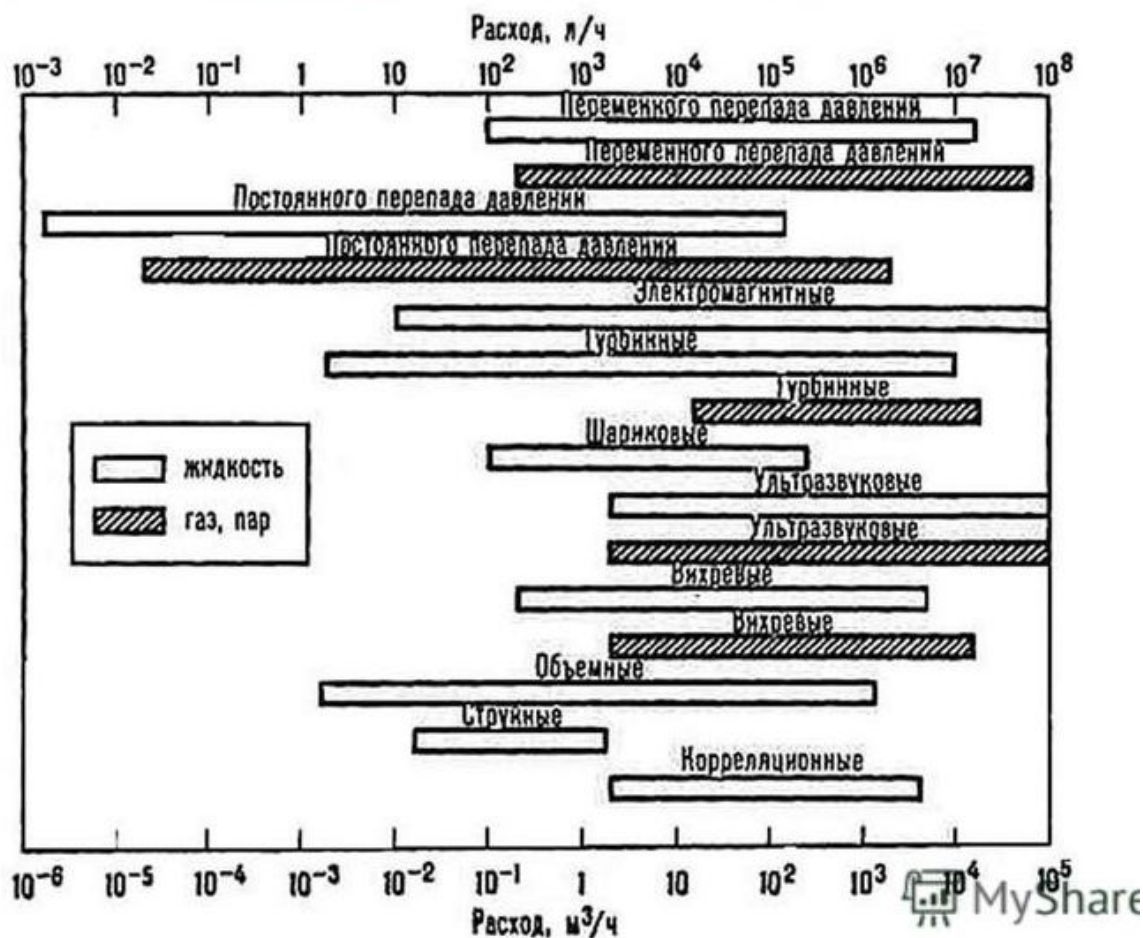


Рисунок 7.12- Области использования различных типов расходомеров

Крыльчатые расходомеры служат для измерения небольших расходов. Турбинные расходомеры служат для измерения больших расходов. Основой конструкции является крыльчатое колесо или турбина, которые вращаются протекающим потоком жидкости. Количество оборотов считывается счетным механизмом.

Для расширения динамического диапазона измерений используют тахометрические расходомеры с автоматическим переключением.

Достоинства: простота конструкции, низкая стоимость, не требуют

электропитания, регистрация суммарного расхода, достаточно широкий диапазон измерений (1:50). Не требуют протяженных прямых участков.

Недостатки: потери напора, чувствителен к гидроударам, восприимчив к вязким и твердым загрязнениям среды, невозможность отображения расхода, только числоимпульсный выход.

В настоящее время существенное распространение получили ультразвуковые (большие диаметры трубопроводов) и электромагнитные типы расходомеров (рис. 7.14-7.16).



Рисунок 7.14- Ультразвуковой расходомер

Принцип работы ультразвукового расходомера основан на измерении разности времени прохождения акустических колебаний по и против направления потока измеряемого вещества. Первичные излучатели выполняют роль как приемника так и роль передатчиков.

Первичные колебания создают акустические колебания в измеряемой среде. Акустические колебания с частотой 0.1-1.0 МГц используются для измерения расхода жидкости, частоты в несколько десятки кГц - для измерения загрязняющих жидкостей (иначе возрастает поглощение и рассеяние сигнала)

Двухлучевые расходомеры имеют более высокую точность измерения. При измерении расхода в трубопроводах малого диаметра используют эффект отражения акустической волны от внутренней поверхности стенки трубопровода. Для труб малого диаметра расходомер поставляется в собранном виде. Для измерения расходов в трубах большого диаметра применяют либо накладные расходомеры, либо отдельно врезают первичные преобразователи. Соосность первичных преобразователей обеспечивается применением при монтаже специального направляющего приспособления.



Рисунок 7.15- Двухлучевой ультразвуковой расходомер

Наиболее распространенные тип расходомера – электромагнитный (индукционный). Принцип работы электромагнитного (индукционного) расходомера основан на законе Фарадея - в проводнике, движущемся в магнитном поле возникает электрический ток. Вода должна обладать достаточной электропроводностью. Для измерения расхода пара не применяется.

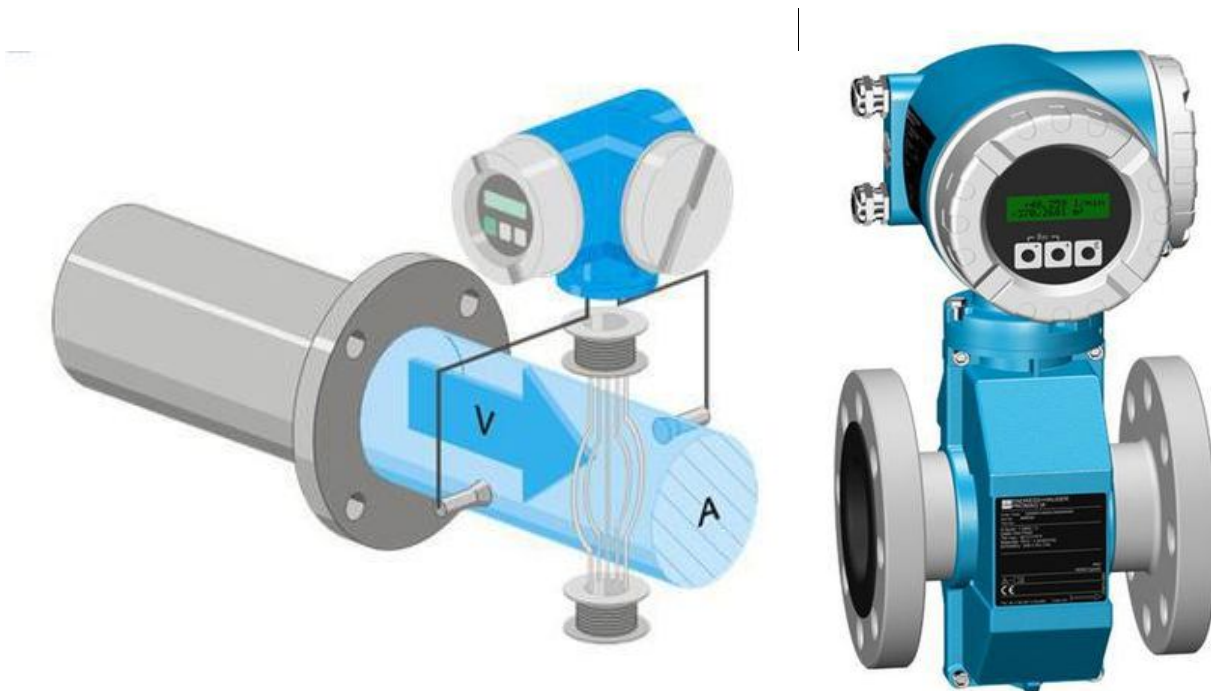


Рисунок 7.16 –Электромагнитный расходомер

Наиболее стабильным типом расходомера до недавнего времени являлись датчики переменного перепада давления(диафрагмы, сопла Вентури –

датчики ассового расхода), рис. 7.17.

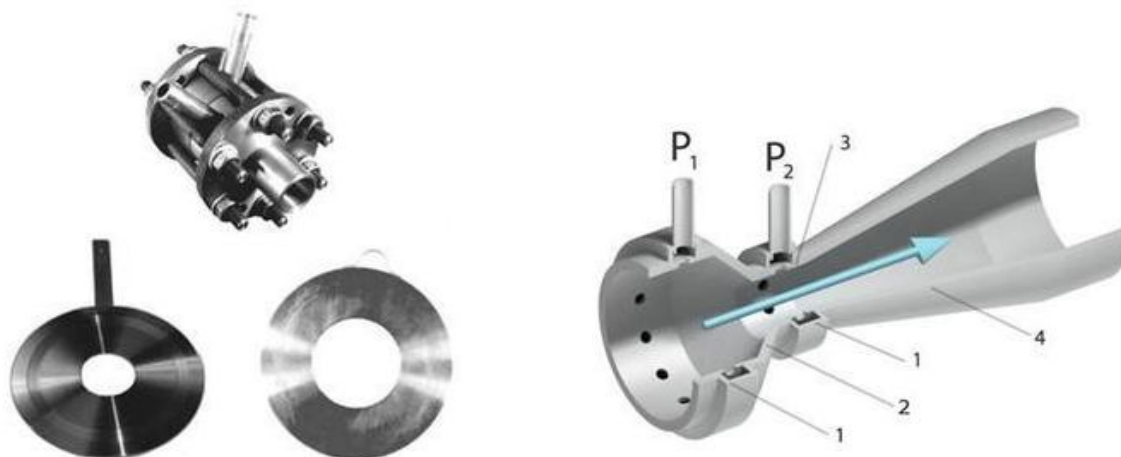


Рисунок 7.17 – Датчики переменного перепада давления-диафрагмы и сопла Вентури

Измерение расхода методом переменного перепада давления на сужающем устройстве (СУ) при коммерческой эксплуатации узла учета тепловой энергии применяется все реже из-за существенных недостатков: большие потери напора на СУ, малый динамический диапазон измерения, малый срок службы, сложность оборудования. Сопла Вентури в меньшей степени боятся гидравлических ударов, но более сложны в изготовлении.

Очень важным моментом при монтаже расходомеров является обязательное наличие прямых участков на трубопроводе (длина зависит от типа используемого расходомера), рис. 7.18

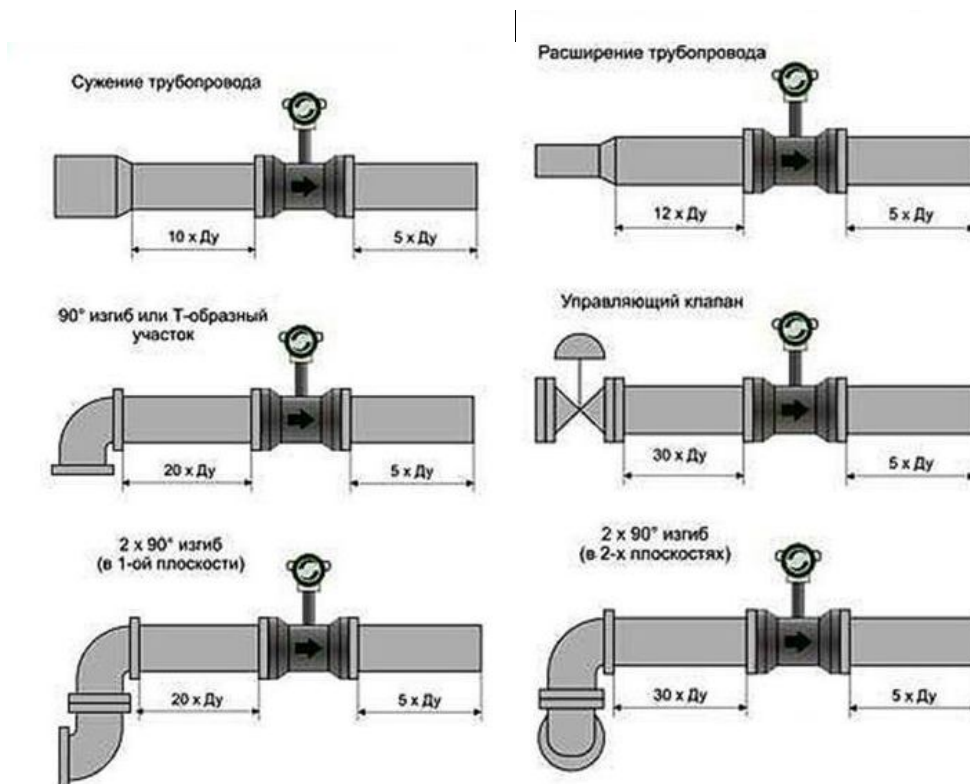


Рисунок 7.18-Пример расположения длин прямых участков для различных местных сопротивлений при установки расходомера

Тепловычислитель – технологический контроллер обрабатывает информацию от датчиков расхода, давления, температуры и рассчитывает основные показатели режима потребления тепловой энергии – массовый расход, температуру и давление теплоносителя по трубопроводам, вычисляет расход тепловой энергии в зависимости от расчетной схемы узла. При этом все показатели, включая нештатные ситуации, архивируются, рис. 7.19.



Рисунок 7.19-Примеры исполнения тепловычислителей

Очень важный момент – программирование технологического контроллера. В зависимости от сложности тепловой схемы, вида теплоносителя общий объем программируемой памяти может составлять десятки кБ, рис. 7.20.

Серийный номер ИСТОК №0307366
 Объект Расход тепла на ПЗТ город

П01 Контрактное время 08 часов.

П60 Гкал

П40

№ канала	Датчик	Среда	М	R0	I ав, R ав
01	4-20 мА	Расход о.	2500 м³/ч	-	3,5 мА
02	4-20 мА	Давление	980,665 кПа	-	3,5 мА
13	ТСП3910	Темпер.	-	100 Ом	80 Ом
14	ТСП3910	Темпер.	-	100 Ом	80 Ом
03	4-20 мА	Расход о.	2500 м³/ч	-	3,5 мА
04	4-20 мА	Давление	980,665 кПа	-	3,5 мА
05	4-20 мА	Расход о.	500 м³/ч	-	3,5 мА
06	4-20 мА	Расход о.	500 м³/ч	-	3,5 мА

Примечание: у каналов 07-12 и 15 тип датчика 0-5 мА.

П02

№ точки	1 (прямая)	2 (обратка)	3 (пр. бай.)	4 (обр. бай.)	№ точки	00
Среда	Вода	Вода	Вода	Вода	Среда	Хол. ист.
Канал Т	13	14	13	14	Канал Т	00
Max	150 °C	150 °C	150 °C	150 °C	М	0 °C
Min	0 °C	0 °C	0 °C	0 °C	Вид Р	Избыт.
Дог	0 °C	0 °C	0 °C	0 °C	Канал Рхи	00
Вид Р	Избыточное	Избыточное	Избыточное	Избыточное	М	200 кПа
Канал Р	02	04	02	04	Канал Ратм	00
Max	980,665 кПа	980,665 кПа	980,665 кПа	980,665 кПа	М	98,11019 кПа
Min	0 кПа	0 кПа	0 кПа	0 кПа		
Дог	0 Кпа	0 Кпа	0 Кпа	0 Кпа		
Метод	Расходомер	Расходомер	Расходомер	Расходомер		
Канал G1	01	03	05	06		
Канал G2	00	00	00	00		
Max	2500 м³/ч	2500 м³/ч	500 м³/ч	500 м³/ч		
Min	0 м³/ч	0 м³/ч	0 м³/ч	0 м³/ч		
Дог	2200 м³/ч	2000 м³/ч	450 м³/ч	350 м³/ч		
Отс	5 м³/ч	5 м³/ч	2 м³/ч	2 м³/ч		

П04

№ группы	Значение	Единица	Слагаемое	Формула
01	Интегр.	Гкал/ч	01	1*01.01*00.00
			02	.-1*02.01*00.00
			03	0.000/00.00/00.00
02	Интегр.	мЗ/ч	01	1*01.04*00.00
			02	.-1*02.04*00.00
			03	0.000/00.00/00.00
03	Мгнов.	Град С	01	1*01.05*00.00
			02	.-1*02.05*00.00
			03	0.000/00.00/00.00

П39

№ байта	Характерист.	Код	KU исток	KU ктс	KI ктс	Примеч. (KR)
1	Расход пр.	01.04	10	10	0,04167	м³/ч
2	Давление пр.	01.06	3,92266	0,04	0,00016667	кгс/см²
3	Темпер. пр.	01.05	0,8	0,8	0,00333	°C (-50)
4	Тепло пр.	01.01	1,385364	1,385364	0,00577	Гкал/ч
5	Расход обр.	02.04	10	10	0,04167	м³/ч
6	Давление обр.	02.06	3,92266	0,04	0,00016667	кгс/см²
7	Темпер. обр.	02.05	0,8	0,8	0,00333	°C (-50)
8	Тепло обр.	02.01	1,385364	1,385364	0,00577	Гкал/ч
9	Расход п.б.	03.04	2	2	0,00833	м³/ч
10	Тепло п.б.	03.01	0,2770724	0,2770724	0,00115	Гкал/ч
11	Расход о.б.	04.04	2	2	0,00833	м³/ч
12	Тепло о.б.	04.01	0,2770724	0,2770724	0,00115	Гкал/ч

Рисунок 7.20- Пример программирования базы данных тепловычислителя

Для автоматизации учета потребляемой тепловой энергии при наличии

нескольких узлов учета на предприятии используется автоматизированная систему учета (пример СП-сеть фирмы Логика).



Рисунок 7.21-Комплектующие изделия для СП-сети

Для автоматизации процесса сбора данных о потреблении теплоносителя группой потребителей применяют системы сбора данных, построенные на основе специализированного программно-аппаратного комплекса. Связь с тепловычислителей с системой сбора информации осуществляется посредством различных интерфейсов, чаще всего это интерфейсы RS232 и RS485.

Модемное соединение использует интерфейс RS232. Достоинства модемного соединения: большая дальность, нет необходимости в выделенной линии, возможность доступа с любого ПК с необходимым ПО и модемом.

Интерфейс RS485 требует наличия преобразователя RS485-COM или RS485-USB, отдельной выделенной линии (до 1 км), доступ с определенного мест

Допуск в эксплуатацию узла учета тепловой энергии у потребителя.

Для допуска узла учета тепловой энергии в эксплуатацию представитель источника теплоты должен предъявить:

1. Принципиальные схемы подключения;
2. Проект на узел учета, согласованный с Госэнергонадзором;
3. Паспорт на приборы узла учета;
4. Документы о поверке приборов узла учета, с действующим клеймом госповерителя;
5. Схемы узла учета, согласованные с Госстандартом, (это требование относится только к приборам, измеряющим массу или объем теплоносителя методами переменного перепада давления);
6. Акт, о соответствии монтажа требованиям, правил измерения

расхода газов и жидкостей, стандартными сужающими устройствами РД 50-213-80 (это требование относится только к приборам, измеряющим расход теплоносителя, методом переменного перепада давления);

7. Смонтированный и проверенный на работоспособность узел учета тепловой энергии и теплоносителя, включая приборы, регистрирующие параметры теплоносителя.

При допуске узла учета в эксплуатацию должны быть проведены:

1. Соответствие заводских номеров на приборы учета указанным, в их паспортах;
2. Соответствие диапазонов измерений устанавливаемых приборов учета диапазонам измеряемых параметров;
3. Качество монтажа средств измерений и линий связи, а также соответствие монтажа требованиям паспорта и проектной документации;
4. Наличие пломб.

Допуск узла учета в эксплуатацию оформляется двухсторонним актом.

Паспорт узла учета тепловой энергии является обязательным документом при коммерческой эксплуатации.

Состав паспорт узла учета.

1. Документация, оформляемая монтажно-наладочно организацией:
 - титульный лист (наименование монтажной организации объекта, адреса и т.д.);
 - содержание;
 - общие сведения: 3-4 листа с указанием комплектации средствами измерения, применяемых программах и алгоритмов, регистрируемых параметрах и т.д. ;
 - акт допуска узла учета в эксплуатацию в двух экземплярах по форме, рекомендуемой правилами, подписанный представителями заказчика, монтажной и теплоснабжающей организацией;
 - карта программирования тепловычислителя;
 - ведомость учета параметров теплопотребления с момента "старта" за период не менее 3-4 суток, завизированная метрологами теплоснабжающей организации.
2. Техническая документация на средства измерений:

- паспорта на все вычислители, расходомеры, термодатчики, преобразователи и т.д. со свидетельствами о поверке;
- эксплуатационная документация на средства измерений от заводов – изготовителей (руководство по эксплуатации, инструкции по монтажу, наладке, программированию, методики поверке и т.д.);

3. Исполнительная документация:

- комплект проектной документации с внесенными исправлениями и дополнениями, согласованный с соответствующими службами теплоснабжающей организацией; технические условия (ТУ) на установку узла учета, выданные теплоснабжающей организацией

Дополнения к паспорту узла учета

1. Акты повторного ежегодного допуска узла учета.

2. Свидетельства о периодической метрологической поверке средств измерения.

При оформлении паспорта узла учета отпадает необходимость в оформлении в виде отдельных документов:

1. Метрологического паспорта узла учета;
2. Акта приемки в эксплуатацию систем автоматизации узла учета;
3. Акта обкатки узла учета в течение 72 ч.

Контрольные вопросы

1. Алгоритмы расчета по потребляемой тепловой энергии.
2. Состав паспорта на тепловой узел.
3. Правила допуска узла учета в эксплуатацию.
4. Погрешность измерения тепловой энергии (требования Правил учета тепловой энергии).
5. Состав узла учета тепловой энергии.
6. Типы расходомеров и их область использования.
7. Ультразвуковые расходомеры.
8. Электромагнитные расходомеры.
9. Диафрагмы и сопла Вентури.
10. Тепловычислители. Программируемая база данных для узла учета теплоснабжения.

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.
5. Тепловизионная диагностика зданий: методические указания к практической работе / сост. Т.Н. Немова, К.Д. Трофимов – Томск : Изд-во Том. гос. арх.-строит. ун-та, 2015. – 39 с.
6. Энергосбережение. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Энергосбережение» и «Ресурсосберегающие и инновационные технологии в электроэнергетике» предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки: 35.03.06 Агроинженерия, профиль подготовки «Электрооборудование и электротехнологии» / О.В. Логачёва: СГАУ.— Саратов, 2016. 12 с.
7. Основы энергосбережения: Практикум к выполнению курсовой работы / сост. А. В. Кузнецов. – Ульяновск : УлГТУ, 2016. – 51 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.

Составитель:
Делягин Валерий Николаевич

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОАУДИТ

**Методические указания к лабораторно-
практическим работам**

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

Подано в печать «__» _____ 2017 г. Формат 60x84 ¹/₁₆
Объем 6,5 уч.-изд. л., 6,43 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