

## ВВЕДЕНИЕ

**Электротехнология** – область науки и техники, изучающая приемы, способы и средства выполнения производственных процессов, использующих электрическую энергию непосредственно или с предварительным преобразованием в другие виды.

**Целью преподавания электротехнологии** является формирование у студентов системы знаний для проектирования, монтажа и эксплуатации установок электротехнологии в производстве.

### **Задачи изучения дисциплины:**

- изучить и усвоить физические основы преобразования электрической энергии в тепловую энергию; освоить современные инженерные методы расчета преобразующих устройств и установок;
- получить знания по устройству, принципам действия и применению современного электронагревательного оборудования, использования электрической энергии в технологических процессах, принципам управления и автоматизации, правилам эксплуатации и безопасного обслуживания;
- приобрести навыки постановки и решения инженерных задач в области использования электрической энергии в технологических процессах, технико-экономического обоснования, разработки проектных решений, освоение методики наладки и испытания оборудования.

### **Целью контрольной работы является:**

- закрепление, углубление и обобщение знаний, полученных студентами во время изучения курса «Электротехнология»;
- развитие навыков самостоятельного решения инженерных задач по применению электротехнологии в технологических процессах.

Выполнение контрольной работы должно продемонстрировать знания студентов:

- устройства, работы, технических данных, способов управления и автоматизации электротехнологического оборудования;
- умение студентов:
- производить расчет и проектирование устройств электронагрева и электротехнологии с использованием современных расчетных методов и вычислительной техники;
- разрабатывать способы управления и автоматизации электротермических установок.

# 1. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ

## 1.1 Тепловой расчет нагревательных элементов

В качестве нагревательных элементов в электрокалориферах используют трубчатые электронагреватели (ТЭН), смонтированные в единый конструктивный блок.

В задачу теплового расчёта блока ТЭНов входит определение количества ТЭНов в блоке и действительной температуры поверхности нагревательного элемента. Результаты теплового расчёта используют для уточнения конструктивных параметров блока.

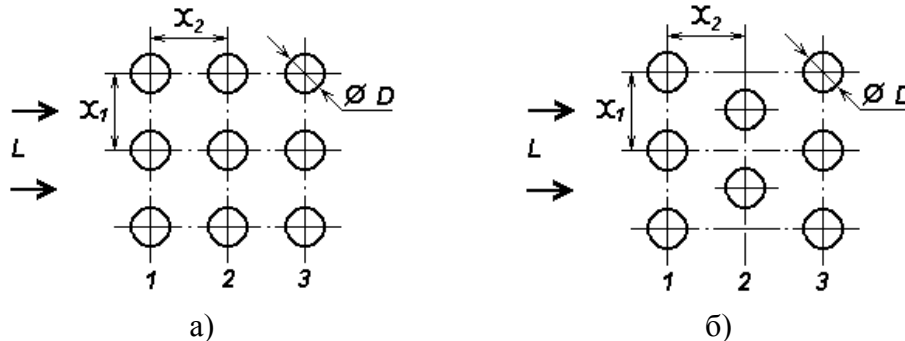
Задание на расчет приведено в приложении 1.

Мощность одного ТЭНа определяют исходя из мощности калорифера  $P_k$  и числа ТЭНов  $z$ , установленных в калорифере.

$$P_m = \frac{P_k}{z}. \quad (1.1)$$

Число ТЭНов  $z$  принимают кратным 3, причем мощность одного ТЭНа не должна превышать 3...4 кВт. ТЭН подбирают по паспортным данным (приложение 1).

По конструктивному исполнению различают блоки с коридорной и шахматной компоновкой ТЭНов (рисунок 1.1).



а – коридорная компоновка; б – шахматная компоновка.

Рисунок 1.1 – Схемы компоновки блока ТЭНов

Для первого ряда нагревателей скомпонованного нагревательного блока должно выполняться условие:

$$t_n^1 = \frac{P_m^1}{0,6\alpha_{cp}F_m^1} + t_g < 180 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1.2)$$

где  $t_n^1$  - действительная средняя температура поверхности нагревателей первого ряда,  $^\circ\text{C}$ ;  $P_m^1$  - суммарная мощность нагревателей первого ряда, Вт;  $\alpha_{cp}$  - средний коэффициент теплоотдачи, Вт/( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ );  $F_m^1$  - суммарная площадь теплоотдающей поверхности нагревателей первого ряда,  $\text{м}^2$ ;  $t_g$  - температура воздушного потока после калорифера,  $^\circ\text{C}$ .

Суммарную мощность и суммарную площадь нагревателей определяют из параметров выбранных ТЭНов по формулам

$$P_m^1 = kP_m, \quad F_m^1 = kF_m, \quad (1.3)$$

где  $k$  – количество ТЭНов в ряду, шт;  $P_m, F_m$  – соответственно мощность, Вт, и площадь поверхности,  $m^2$ , одного ТЭНа.

Площадь поверхности оребренного ТЭНа

$$F_m = \pi l_a \left( d + \frac{h(d + h_p)}{a} \right), \quad (1.4)$$

где  $d$  – диаметр ТЭНа, м;  $l_a$  – активная длина ТЭНа, м;  $h_p$  – высота ребра, м;  $a$  – шаг оребрения, м.

Для пучков поперечно обтекаемых труб следует учитывать средний коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{ср}$ , так как условия передачи теплоты отдельными рядами нагревателей различны и определяются турбулизацией воздушного потока. Теплоотдача первого и второго рядов трубок по сравнению с третьим рядом меньше. Если теплоотдачу третьего ряда ТЭНов принять за единицу, то теплоотдача первого ряда составит около 0,6, второго – около 0,7 в шахматных пучках и около 0,9 – в коридорных от теплоотдачи третьего ряда. Для всех рядов после третьего коэффициент теплоотдачи можно считать неизменным и равным теплоотдаче третьего ряда.

Коэффициент теплоотдачи ТЭНа определяют по эмпирическому выражению

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}, \quad (1.5)$$

где  $Nu$  – критерий Нуссельта,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха,  $\lambda = 0,027 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ;  $d$  – диаметр ТЭНа, м.

Критерий Нуссельта для конкретных условий теплообмена рассчитывают по выражениям

для коридорных пучков труб  
при  $Re \leq 1 \cdot 10^3$

$$Nu = 0,49 Re^{0,5}, \quad (1.6)$$

при  $Re > 1 \cdot 10^3$

$$Nu = 0,149 Re^{0,65}, \quad (1.7)$$

для шахматных пучков труб:  
при  $Re \leq 1 \cdot 10^3$

$$Nu = 0,49 Re^{0,5}, \quad (1.8)$$

при  $Re > 1 \cdot 10^3$

$$Nu = 0,35 Re^{0,6}, \quad (1.9)$$

где  $Re$  - критерий Рейнольдса.

Критерий Рейнольдса характеризует режим обтекания ТЭНов воздухом и равен

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (1.10)$$

где  $v$  - скорость воздушного потока, м/с;  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $\nu = 18,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Для обеспечения эффективной термической нагрузки ТЭНов, не приводящей к перегреву нагревателей, следует обеспечивать в зоне теплообмена движение потока воздуха со скоростью не менее 6 м/с. Учитывая возрастание аэродинамического сопротивления конструкции воздушного канала и нагревательного блока с ростом скорости потока воздуха, последнюю следует ограничить 15 м/с.

Средний коэффициент теплоотдачи для коридорных пучков

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha(n - 0,5)}{n}, \quad (1.11)$$

для шахматных пучков

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha(n - 0,7)}{n}, \quad (1.12)$$

где  $n$  - количество рядов труб в пучке нагревательного блока.

Температура воздушного потока после калорифера равна

$$t_{\theta} = \frac{P_{\kappa}}{\rho \cdot c_{\theta} \cdot L_{\theta}}, \quad (1.13)$$

где  $P_{\kappa}$  – суммарная мощность ТЭНов калорифера, кВт;  $\rho$  - плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c_{\theta}$  – удельная теплоемкость воздуха,  $c_{\theta} = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $L_{\theta}$  – производительность калорифера,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Если условие (1.2) не выполняется, выбирают другой нагревательный элемент или изменяют принятые в расчете скорость воздуха, компоновку нагревательного блока.

## 1.2 Конструктивный расчет нагревательного блока

В расчет конструктивных параметров блока ТЭНов входит определение расстояний между нагревателями в ряду  $x_1$  и расстояний между рядами  $x_2$ , а также внешних размеров блока. При расчете конструктивных элементов следует учитывать принятую ранее скорость воздушного потока, количество нагревателей в ряду, количество рядов, расположение нагревателей и производительность вентилятора  $L_в$ .

Для расчета  $x_1$ , определяют «живое» сечение блока нагревателей, т. е. не занятую ТЭНами площадь воздушного канала  $F_к$ :

$$F_к = \frac{L_в}{v}, \quad (1.14)$$

где  $L_в$  – производительность калорифера, м<sup>3</sup>/с;  $v$  – принятая в тепловом расчете скорость воздуха, м/с.

Минимальные размеры нагревательного блока определяют по следующим выражениям:

расстояние между нагревателями в ряду

$$x_1 = \frac{F_к}{(k+1)l_a} + D, \quad (1.15)$$

где  $k$  – количество ТЭНов в ряду,

расстояние между рядами нагревателей  $x_2$

$$\begin{aligned} \text{при } x_1 \geq 3/2 D & \quad x_2 = x_1, \\ \text{при } x_1 < 3/2 D & \quad x_2 = 1,2 x_1, \end{aligned} \quad (1.16)$$

где  $D$  – диаметр выбранного ТЭНа с оребрением, м.

высота  $H$  и ширина  $B$  блока нагревателей

$$H = (k+1)x_1, \quad (1.17)$$

$$B_H = l + 0,1, \quad (1.18)$$

где  $l$  – полная длина ТЭНа, м.

глубина блока нагревателей  $C_H$

$$C_H = (n+1)x_2. \quad (1.19)$$

По результатам расчета нагревательного блока выполняют эскиз блока с указанием расчетных параметров нагревательного элемента.

**Пример.** Провести тепловой и конструктивный расчет нагревательного блока электрокалорифера мощностью 36 кВт. Компоновка ТЭНов шахматная.

Решение.

*Тепловой расчет.*

В калорифере установим 18 ТЭНов, количество рядов  $n = 3$ , количество ТЭНов в ряду  $k = 6$ . Мощность одного ТЭНа

$$P_m = \frac{P_k}{z} = \frac{36000}{18} = 2000 \text{ Вт.}$$

Выбираем ТЭН80В13/2,0К220 (приложение 2). Мощность ТЭНа  $P_m = 2000$  Вт, активная длина  $l_a = 0,8$  м, диаметр  $d = 0,013$  м.

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи ТЭНа. Выбираем скорость воздуха в калорифере  $v = 14$  м/с.

Критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{14 \cdot 0,013}{18,5 \cdot 10^{-6}} = 9837,83.$$

Критерий Нуссельта для шахматной компоновки, при  $Re > 1 \cdot 10^3$

$$Nu = 0,35 Re^{0,6} = 0,35 \cdot 9837,83^{0,6} = 87,05.$$

Коэффициент теплоотдачи ТЭНа

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{87,05 \cdot 0,027}{0,013} = 180,79 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Средний коэффициент теплоотдачи для шахматной компоновки

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha(n-0,7)}{n} = \frac{180,79(3-0,7)}{3} = 138,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Суммарная мощность первого ряда ТЭНов

$$P_m^1 = kP_m = 6 \cdot 2000 = 12000 \text{ Вт.}$$

Площадь поверхности одного ТЭНа с учетом оребрения. Шаг оребрения  $a = 0,005$  м, высота ребра  $h_p = 0,012$  м.

$$F_m = \pi d_a \left( d + \frac{h(d+h_p)}{a} \right) = 3,14 \cdot 0,8 \left( 0,013 + \frac{0,012(0,013+0,012)}{0,005} \right) = 0,183 \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь первого ряда ТЭНов

$$F_m^1 = kF_m = 6 \cdot 0,183 = 1,098 \text{ м}^2.$$

Температура воздушного потока после калорифера

$$t_{\theta} = \frac{P_k}{\rho \cdot c_{\theta} \cdot L_{\theta}} = \frac{18 \cdot 2000}{1,1 \cdot 1000 \cdot 1,45} = 22,57 \text{ °C.}$$

Температура ТЭНов первого ряда

$$t_n^1 = \frac{P_m^1}{0,6 \alpha_{cp} F_m^1} + t_{\theta} = \frac{12000}{0,6 \cdot 138,6 \cdot 1,098} + 22,57 = 153,99 \text{ °C,}$$

что соответствует норме.

*Конструктивный расчет.*

“Живое” сечение блока нагревателей

$$F_k = \frac{L_{\theta}}{v} = \frac{1,45}{14} = 0,103 \text{ м}^2.$$

Расстояние между нагревателями в ряду

$$x_1 = \frac{F_k}{(k+1)l_a} + D = \frac{0,103}{(6+1)0,8} + 0,037 = 0,0553 \text{ м.}$$

Расстояние между рядами нагревателей

$$3/2 \cdot D = 3/2 \cdot 0,037 = 0,0555, \quad 0,0555 > 0,0553 \text{ следовательно}$$

$$x_2 = 1,2 \cdot x_1 = 1,2 \cdot 0,0553 = 0,0663 \text{ м.}$$

Высота блока нагревателей

$$H = (k+1)x_1 = (6+1)0,0553 = 0,387 \text{ м.}$$

Ширина блока нагревателей

$$B_n = l + 0,1 = 0,8 + 0,1 = 0,9 \text{ м.}$$

Глубина блока нагревателей

$$C_n = (n+1)x_2 = (3+1)0,0663 = 0,265 \text{ м.}$$

### 1.3 Выбор ПЗА и расчет внутренних силовых сетей

Согласно ПУЭ первичная цепь каждой электротермической установки должна содержать следующие коммутационные и защитные аппараты: выключатель (рубильник с дугогасящими контактами, пакетный выключатель) на вводе и предохранители или блок предохранитель-выключатель либо автоматический выключатель с электромагнитным и тепловыми расцепителями.

Допускается использовать рубильники без дугогасящих контактов при условии, что коммутация ими выполняется без нагрузки.

В качестве расчетных токов потребителей принимают их номинальные токи.

Расчетный ток магистральных линий определяют по выражению

$$I_n = k_0 \sum I_n, \quad (1.20)$$

где  $k_0$  - коэффициент одновременности работы потребителей.

Рубильники и блоки предохранитель-выключатель выбирают по номинальному напряжению ( $U_n \geq U_{н.уст}$ ), номинальному току ( $I_n \geq I_{н.уст}$ ), числу полюсов, конструктивному и климатическому исполнению, категории размещения и степени защиты. Рекомендуется выбрать рубильники типа Р11, Р16, РП11, РП16, блоки предохранитель-выключатель типа БПВ, ППВ.

Плавкие предохранители выбирают по следующим параметрам:

по номинальному напряжению

$$U_{н.пр} \geq U_{н.уст}. \quad (1.21)$$

по номинальному току

$$I_{н.пр} \geq I_{н.уст}. \quad (1.22)$$

по номинальному току плавкой вставки

$$I_{\sigma} \geq k_n I_{p.\max}, \quad (1.23)$$

$$I_{\sigma} \geq I_{\max} / \alpha, \quad (1.24)$$

где  $I_{p.max}$  - максимальный рабочий ток цепи, защищаемой предохранителем, А;  $k_n$  - коэффициент надежности,  $I_{max}$  - максимальный пусковой ток электродвигателя электро-термической установки, А;  $\alpha$  - коэффициент, зависящий от режима пуска защищаемых двигателей (для легкого режима пуска  $\alpha = 2,5 \dots 3$ , для тяжелого -  $\alpha = 1,6 \dots 2$ ).

При защите плавкими предохранителями линии, к которой присоединены более пяти двигателей, ток плавкой вставки определяют по условию

$$I_{\sigma} \geq k_o \sum I_{p(n-1)} + I_n / \alpha, \quad (1.25)$$

при защите предохранителями линии, к которой присоединены до пяти двигателей,

$$I_{max} \geq k_o \sum I_{p(n-1)} + I_n, \quad (1.26)$$

где  $k_o$  - коэффициент одновременности;  $\sum I_{p(n-1)}$  - сумма рабочих токов всех двигателей, за исключением одного, у которого разность между пусковым и номинальным токами наибольшая;  $I_n$  - пусковой ток исключенного из суммы двигателя.

Рекомендуется выбрать предохранители типа ПРС, НПН2, ПН2, ПР2.

Автоматические выключатели выбирают по следующим условиям.

$$\begin{aligned} U_{н.а} &\geq U_{н.уст}; \\ I_{н.а} &\geq I_{н.уст}; \\ I_{н.т} &\geq k_{н.т} I_{н.уст}; \\ I_{н.э} &\geq k_{н.э} I_{max}, \end{aligned} \quad (1.27)$$

где  $U_{н.а}$ ,  $I_{н.а}$  - соответственно номинальные напряжение и ток автомата;  $I_{н.т}$  - номинальный ток теплового расцепителя;  $k_{н.т}$  - коэффициент надежности, учитывающий разброс по току срабатывания теплового расцепителя, принимают в пределах  $1,1 \dots 1,3$ ;  $I_{н.э}$  - ток отсечки электромагнитного расцепителя;  $k_{н.э}$  - коэффициент надежности, учитывающий разброс по току электромагнитного расцепителя ( для автоматов АП-50, АЕ-2000 и А3700  $k_{н.э} = 1,25$ , для А3100  $k_{н.э} = 1,5$ );  $I_{max}$  - максимальный рабочий ток в цепи (для электродвигателей пусковой ток  $I_n$ ).

При выборе автоматических выключателей также учитывают число полюсов, конструктивное и климатическое исполнение.

Для дистанционного управления электронагревательными элементами и электродвигателями выбирают магнитные пускатели серии ПМЛ, ПМА.

Для защиты электродвигателей от перегрузок магнитные пускатели комплектуются тепловыми реле типа РТЛ и РТТ. Диапазон регулирования тока уставки реле от 0,75 до 1,25  $I_n$ .

Магнитные пускатели выбирают по конструктивному и климатическому исполнению, по номинальному напряжению ( $U_{н.н} \geq U_{н.уст}$ ), номинальному току ( $I_{н.н} \geq I_{н.уст}$ ), току уставки теплового реле ( $I_{н.р} \geq I_{н.дв}$ ) и по напряжению втягивающей катушки.

Внутренние силовые кабели должны быть надежными, доступными для эксплуатации, минимальной протяженности, соответствовать условиям окружающей среды и в полной мере обеспечивать безопасность людей и сельскохозяйственных животных, пожаро- и взрывобезопасность.



Кабели выбирают таким образом, чтобы его температура при длительном протекании тока не была больше предельно допустимой.

Так как выбор проводов по допустимому нагреву тесно связан с выбором защитных аппаратов, то расчет начинают с выбора защиты от перегрузок и коротких замыканий.

По принятому значению номинального тока плавкой вставки или тока срабатывания расцепителя автомата находят допустимый ток проводника  $I_{дон}$  по условию согласования с защитой.

Согласно ПУЭ значение  $I_{дон}$  определяют по следующим условиям:

для проводников с резиновой и подобной ей по тепловым характеристикам изоляцией ( $t_{дон} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$ ), прокладываемых в пожароопасных и взрывоопасных помещениях, защищаемых плавкими вставками предохранителей или мгновенно действующими электромагнитными расцепителями автоматов

$$I_{дон} \geq 1,25I_{\epsilon} \quad \text{или} \quad I_{дон} \geq 1,25I_{н.э}. \quad (1.28)$$

для тех же проводников, прокладываемых во всех других помещениях

$$I_{дон} \geq I_{\epsilon} \quad \text{или} \quad I_{дон} \geq I_{н.э}. \quad (1.29)$$

для проводников всех марок при защите их автоматами с расцепителями, имеющими обратозависимую от тока характеристику

$$I_{дон} \geq I_{н.т}. \quad (1.30)$$

для ответвлений к электродвигателям в невзрывоопасных помещениях

$$I_{дон} \geq I_{н.дв}. \quad (1.31)$$

По значениям  $I_{дон}$  по таблицам допустимых значений токов для принятой марки кабеля выбирают соответствующую площадь сечения проводника.

Выбранный провод проверяют по допустимой потере напряжения. Согласно ПУЭ потери напряжения в силовых проводках не должна превышать 5%.

Расчетные потери напряжения без учета индуктивного сопротивления при условии, что нагрузка равномерно распределена по фазам и на всех участках проложен одинаковый провод, определяют по формуле

$$\Delta U = \frac{Pl}{cs}, \quad (1.32)$$

где  $P$  - присоединенная мощность, кВт;  $l$  - длина линии, м;  $c$  - постоянный для данного провода коэффициент, зависящий от напряжения сети, числа фаз и материала провода (таблица 1.1);  $s$  - сечение провода, мм<sup>2</sup>.

**Таблица 1.1 - Значения коэффициента  $c$**

Напряжение, В	Вид сети	Коэффициент $c$ для проводов		
		медных	алюми- ниевых	стальных
380/220	Трёхфазная с нулевым прово- дом	77,0	46,0	10,0
380/220	Двухфазная с нулевым прово- дом	34,0	20,0	4,5
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	12,8	7,7	1,7

Основным назначением принципиальных схем является отражение всех электрических элементов и устройств, необходимых для осуществления и контроля заданных электрических параметров, всех электрических связей между ними, а также электрических элементов (соединителей, зажимов и т.п.) которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

В общем случае принципиальные схемы содержат:

- условные графические обозначения электрических устройств;
- буквенно-цифровые обозначения устройств;
- поясняющие надписи;
- диаграммы переключений контактов многопозиционных устройств;
- перечень используемых в данной схеме элементов.

При выполнении принципиальных схем необходимо применять условно-графические обозначения, приведенные в приложении 3.

## **2. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЧЕТА**

1. Характеристики электромагнитного поля. Формы ее проявления. Система уравнений Максвелла.
2. Поглощение электромагнитной волны. Коэффициент затухания волны. Глубина проникновения. Поверхностный эффект.
3. Достоинства и недостатки электронагрева.
4. Способы электронагрева. Преимущества, недостатки.
5. Задачи и содержание расчета ЭТУ. Уравнение теплового баланса.
6. Определение мощности ЭТУ.
7. Определение КПД ЭТУ.
8. Электрическое сопротивление проводников I и II рода.
9. Электроконтактный нагрев. Электродный нагрев. Электродные системы.
10. Нагрев сопротивлением. Материалы нагревательных элементов.
11. Трубчатые электронагреватели ТЭН – достоинства, недостатки. Маркировка. Расчет и выбор ТЭНов.
12. Приближенный расчет нагревателей сопротивлением. Коэффициенты монтажа и среды.
13. Регулирование мощности нагревателей.

14. Индукционный нагрев. Энергетические соотношения системы индуктор-изделие.
15. Физические основы диэлектрического нагрева.
16. Термоэлектрический нагрев и охлаждение.
17. Элементные водонагреватели. Устройство. Принцип действия.
18. Электродные водонагреватели и парогенераторы. Устройство. Принцип действия.
19. Индукционные водонагреватели. Устройство. Принцип действия.
20. Электрические калориферы и калориферные установки.
21. Электронагревательные полы, конструкция, область применения.
22. Оборудование инфракрасного нагрева.
23. Электротермическое оборудование при сушке тепловой обработке материалов (активное вентилирование). Выбор электрокалориферов для сушки.
24. Обработка материалов электрическим током.
25. Электроимпульсные установки.
26. Применение электрогидравлического эффекта
27. Электронно-ионная технология. Характеристики электрических полей.
28. Способы зарядки частиц.
29. Классификация электросепараторов зерна.
30. Электрокоронные фильтры.
31. Электроаэрозольные генераторы.
32. Аэроионизация.
33. Процессы ультразвуковой технологии. УЗ-эффекты.
34. Использование магнитных полей.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### *Задание на расчет*

- 1) Выполнить тепловой и конструктивный расчет нагревательного блока электрокалорифера.
- 2) Разработать принципиальную схему управления калорифером. Рассчитать ПЗА и питающие кабели.
- 3) Графическая часть:
  - а) конструктивный чертеж нагревательного блока;
  - б) принципиальная схема управления.

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Вариант	Мощность $P_n$ , кВт	Скорость воздуха $v$ , м/с	Расход воздуха $Q$ , м <sup>3</sup> /с	Компоновка ТЭНов
01	40	6	1,4	коридорная
02	38	8	1,2	шахматная
03	36	10	1,0	коридорная
04	34	12	0,8	шахматная
05	32	14	0,6	коридорная
06	30	12	0,8	шахматная
07	28	10	1,0	коридорная
08	26	8	1,2	шахматная
09	24	6	1,4	коридорная
10	22	8	1,2	шахматная
11	20	10	1,0	коридорная
12	18	12	0,8	шахматная
13	16	14	0,6	коридорная
14	18	12	0,8	шахматная
15	20	10	1,0	коридорная
16	22	8	1,2	шахматная
17	24	6	1,4	коридорная
18	26	8	1,2	шахматная
19	28	10	1,0	коридорная
20	30	12	0,8	шахматная
21	32	14	0,6	коридорная
22	34	12	0,8	шахматная
23	36	10	1,0	коридорная
24	38	8	1,2	шахматная
25	40	6	1,4	коридорная
26	38	8	1,2	шахматная
27	36	10	1,0	коридорная
28	34	12	0,8	шахматная
29	32	14	0,6	коридорная
30	30	12	0,8	шахматная
31	20	14	0,8	коридорная
32	18	12	0,6	шахматная

Вариант	Мощность $P_n$ , кВт	Скорость воздуха $v$ , м/с	Расход воздуха $Q$ , м <sup>3</sup> /с	Компоновка ТЭНов
33	16	10	0,8	коридорная
34	18	8	1,0	шахматная
35	20	6	1,2	коридорная
36	22	8	1,4	шахматная
37	24	10	1,2	коридорная
38	26	12	1,0	шахматная
39	28	14	0,8	коридорная
40	30	12	0,6	шахматная
41	32	6	1,4	коридорная
42	34	8	1,2	шахматная
43	36	10	1,0	коридорная
44	38	12	0,8	шахматная
45	40	14	0,6	коридорная
46	38	12	0,8	шахматная
47	36	10	1,2	коридорная
48	34	12	1,0	шахматная
49	40	14	0,8	коридорная
50	38	12	0,6	шахматная
51	30	6	1,2	коридорная
52	28	8	1,4	шахматная
53	26	10	1,2	коридорная
54	24	12	1,0	шахматная
55	22	14	0,8	коридорная
56	20	12	0,6	шахматная
57	18	10	1,4	коридорная
58	16	12	1,2	шахматная
59	18	14	1,0	коридорная
60	40	6	1,4	коридорная
61	38	8	1,2	шахматная
62	36	10	1,0	коридорная
63	34	12	0,8	шахматная
64	32	14	0,6	коридорная
65	30	12	0,8	шахматная
66	30	10	1,2	коридорная
67	32	8	1,4	шахматная
68	34	6	1,2	коридорная
69	36	8	1,0	шахматная
70	38	10	0,8	коридорная
71	40	12	0,6	шахматная
72	38	14	0,8	коридорная
73	36	12	1,2	шахматная
74	34	10	1,0	коридорная
75	40	8	0,8	шахматная
76	38	6	0,6	коридорная
77	40	8	1,4	шахматная
78	38	10	1,2	коридорная
79	36	12	1,0	шахматная
80	34	14	0,8	коридорная

Вариант	Мощность P <sub>н</sub> , кВт	Скорость воздуха v, м/с	Расход воздуха Q, м <sup>3</sup> /с	Компоновка ТЭНов
81	32	12	0,6	шахматная
82	30	10	0,8	коридорная
83	28	8	1,0	шахматная
84	26	8	1,2	коридорная
85	24	10	1,4	шахматная
86	22	12	1,2	коридорная
87	20	14	1,0	шахматная
88	18	12	0,8	коридорная
89	16	8	0,6	шахматная
90	18	6	0,8	коридорная
91	20	8	1,0	шахматная
92	22	10	1,2	коридорная
93	24	12	1,4	шахматная
94	26	14	1,2	коридорная
95	28	12	1,0	шахматная
96	30	10	0,8	коридорная
97	32	12	0,6	шахматная
98	34	14	0,8	коридорная
99	36	12	1,0	шахматная

## Приложение 2

### Трубчатые электронагреватели серии ТЭН

Обозначение	Мощность, кВт	Развернутая длина, см	Диаметр, мм
ТЭН 60 В 13/1,0 К 220	1,00	60	13
ТЭН 60 В 13/1,0 О 220	1,00	60	13
ТЭН 60 А 13/0,5 К 220	0,50	60	13
ТЭН 73 В 13/2,5 К 220	2,50	73	13
ТЭН 73 В 13/2,0 К 220	2,00	73	13
ТЭН 80 В 13/1,25 К 220	1,25	80	13
ТЭН 80 В 13/1,25 О 220	1,25	80	13
ТЭН 80 В 13/2,0 К 220	2,00	80	13
ТЭН 100 А 16/1,6 К 220	1,60	100	16
ТЭН 80 В 13/1,25 О 220	1,25	80	13
ТЭН 100 В 13/1,0 К 220	1,00	100	13
ТЭН 120 А 13/2,5 К 220	2,50	120	13
ТЭН 120 С 13/1,6 К 380	1,60	120	13
ТЭН 137 D 8,0/1,5К 220	1,50	137	8
ТЭН 140 В 16/3,5 К 220	2,00	140	16
ТЭН 145 С 13/2,0 К 220	2,00	145	13
ТЭН 150 Е 13/2,0 К 220	2,00	150	13
ТЭН 170 Д 13/2,0 К 220	2,00	170	13
ТЭН 173 А 13/3,0 К 220	3,00	173	13
ТЭН 200 Д 13/2,5 К 220	2,50	200	13
ТЭН 200 Е 16/2,5 К 220	2,50	200	16
ТЭН 200 С 13/3,15 К 220	3,15	200	13