

# Дисциплина «ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ»

## Домашнее контрольное задание

Выполнить три задания (номер варианта соответствует порядковому номеру по списку группы)

### Расчет электрокалориферной установки (ЭКУ)

#### 1. Расчет электрокалориферной установки (ЭКУ) с нагревательными элементами типа ТЭН (трубчатый электронагреватель)

Задача: определить необходимое количество электронагревательных элементов типа ТЭН с алюминиевым оребрением и мощность одного ТЭНа в ЭКУ, предназначенной для подачи воздуха в помещение с производительностью по воздуху  $A$ , ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Исходные данные:

- температура входящего в установку воздуха  $t_{\text{вх}}$  ;
- температура выходящего из установки воздуха  $t_{\text{вых}}$  ;
- допустимая температура на поверхности нагревательного элемента (ТЭН)  $t_{\text{н}}$
- схема расположения ТЭН в калорифере;
- параметры оребрения ТЭН: наружный диаметр несущей трубы  $d_{\text{т}}$  ; шаг оребрения  $s_{\text{р}}$  ; высота ребра  $h$  ; площадь поверхности одного ТЭНа (площадь оребрения)  $F_{\text{н}}$  ;
- расчетная скорость воздуха  $v_{\text{р}}$  .

#### АЛГОРИТМ РАСЧЕТА

1. Наиболее типичной и распространенной схемой обтекания воздухом нагревательных элементов в ЭКУ сельскохозяйственного назначения является поперечное обтекание нагревателей с поперечными круглыми ребрами.

В этом случае коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{\kappa}$ ,  $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{С}}\right)$  рассчитывается по следующим эмпирическим выражениям:

При «коридорной» схеме расположения ТЭНов (в каждом сечении, перпендикулярном направлению течения воздуха, расположение нагревателей идентично)

$$\alpha_{\kappa} = \left(\frac{\lambda}{s_{\text{р}}^{0,35}}\right) \text{Pr}^{0,35} \left(\frac{d_{\text{т}}}{s_{\text{р}}}\right)^{-0,54} \left(\frac{h}{s_{\text{р}}}\right)^{-0,14} \left(\frac{v_{\text{р}}}{\nu}\right)^{0,72} \quad (1)$$

$\lambda = 0,025 \frac{Bm}{M \cdot K}$  - коэффициент теплопроводности воздуха (перевести К в °С)

$s_p$  - шаг оребрения

$Pr = 0,707$  - число Прандтля

$d_r$  - наружный диаметр несущей трубы

$h$  - высота ребра

$v_p$  - расчетная скорость воздуха

$\nu = 10^{-4} \frac{M^2}{c}$  - коэффициент кинематической вязкости

При «шахматной» схеме расположения ТЭНов (расположение нагревателей в рядах выполнено со смещением на половину шага в направлении, перпендикулярном направлению течения воздуха)

$$\alpha_{us} = \left( \frac{\lambda}{s_p^{0,35}} \right) Pr^{0,35} \left( \frac{d_m}{s_p} \right)^{-0,54} \left( \frac{h}{s_p} \right)^{-0,14} \left( \frac{v_p}{\nu} \right)^{0,65} \quad (2)$$

2. Теплопроизводительность электрокалорифера определяется:

$$P = A \rho c (t_n - t_{окр}) Bm \quad (3)$$

$A$  - объемный расход воздуха для вентиляции помещения

$\rho = 1,21 \frac{кг}{M^3}$  - плотность воздуха

$c = 1010 \frac{Дж}{кг \cdot K}$  - удельная теплоемкость воздуха (перевести К в °С)

$t_n, t_{окр}$  - температура в вентилируемом помещении и температура окружающего воздуха

Объемный расход воздуха определяется назначением вентилируемого сельскохозяйственного помещения, его размерами, а также с учетом ориентировочных норм вентиляции.

3. Установленная мощность калорифера (мощность нагревательных элементов)

$$P_{уст} = k P \quad (4)$$

$k = 1,2$  - коэффициент запаса, учитывающий тепловые потери от корпуса ЭКУ, возможное понижение питающего напряжения и старение нагревательных элементов.

4. В обычных условиях эксплуатации электрокалориферов теплоотдача от нагревательных элементов к потоку воздуха может рассматриваться как стационарный процесс.

Основным законом стационарной конвективной теплоотдачи является закон Ньютона

$$P_e = \alpha F (t_n - t_e) \quad (5)$$

$P_e$  - тепловой поток, переданный движущемуся воздуху

$F$  - площадь теплоотдачи всех ТЭНов

$t_n$  - температура поверхности ТЭНа

$t_{\text{в}}$  - температура воздуха

$\alpha = 8 - 15 \frac{Bm}{M^2K}$  - коэффициент теплоотдачи (перевести К в  $^{\circ}\text{C}$ )

Из формулы (5) следует, что площадь всех ТЭНов равна

$$F = \frac{P_{\text{в}}}{\alpha(t_{\text{н}} - t_{\text{в}})} \quad (6)$$

5. Необходимое количество ТЭНов

$$n = \frac{F}{F_{\text{н}}} \quad (7)$$

6. Установленная мощность одного ТЭНа

$$P = \frac{P_{\text{уст}}}{n} \quad (8)$$

### ЗАДАНИЕ № 1

**Определить необходимое количество электронагревательных элементов типа ТЭН с алюминиевым оребрением и мощность одного нагревателя в ЭКУ, предназначенной для подачи воздуха в помещение с производительностью  $A$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ .**

Расчет производится по формулам (1) – (8) в соответствии с номером варианта, приведенным в таблице 1.

Исходные данные для расчета:

- температура поверхности нагревателя  $t_{\text{н}} = 180^{\circ}\text{C}$  ;
- диаметр несущей трубы  $d_{\text{т}} = 18 \text{ мм}$  ;
- шаг оребрения  $s_{\text{р}} = 3,5 \text{ мм}$ ;
- высота ребра  $h = 11 \text{ мм}$  ;
- площадь оребрения  $F_{\text{н}} = 0,3 \text{ м}^2$  .

Таблица 1.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$A, \text{м}^3/\text{с}$	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6
$t_{\text{вх}}, ^{\circ}\text{C}$	-6	-20	-23	-15	-21	-11	-13	-14	-19	-17	-12	-14
$t_{\text{вых}}, ^{\circ}\text{C}$	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20
$v_{\text{р}}, \text{м/с}$	9	8	7	6	5	4	5	6	7	8	9	4

**2. Расчет электрокалориферной установки (ЭКУ) с открытыми нагревательными элементами типа «проволочный зигзаг на изоляторах»**

Задача: рассчитать нагревательные элементы для электрокалорифера мощностью  $P$ , Вт. Нагревательные элементы выполнены в виде свободно обдуваемых прутков (зигзаг, укрепленный на изоляторах).

Данные для расчета:

$$W = \frac{P}{F}, \frac{Вт}{м^2} - \text{удельная поверхностная мощность}$$

$t_n$  - рабочая температура нагревателя

$U_\phi$  - фазное напряжение

$\rho$  - удельное электрическое сопротивление нагревателя

- схема соединения нагревателей

### АЛГОРИТМ РАСЧЕТА

1. Определить мощность на одну фазу

$$P_\phi = \frac{P}{3} \quad (9)$$

2. Диаметр нагревателя из проволоки или прутка (круглое поперечное сечение)

$$d_n = \left( \frac{4\rho_t P_\phi^2}{\pi^2 U_\phi^2 W^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (10)$$

3. Длина нагревателя на фазу

$$l_\phi = \left( \frac{P_\phi U_\phi^2}{4\pi\rho_t W^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

### ЗАДАНИЕ № 2

Рассчитать нагревательные элементы для электроралорифера мощностью  $P$ , Вт. Нагреватели выполнены из сплава Х20Н80Н в виде свободно обдуваемых прутков («зигзаг», укрепленный на изоляторах).

Расчет производится по формулам (9) – (11) в соответствии с номером варианта, приведенным в таблице 2.

Исходные данные для расчета:

- температура поверхности нагревателя  $t_n = 180^\circ\text{C}$  ;
- схема соединения «звезда»;
- фазное напряжение  $U_\phi = 220 \text{ В}$  ;
- удельное электрическое сопротивление при температуре  $180^\circ\text{C}$   
 $\rho_{180} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Таблица 2.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

<b>P, 10<sup>3</sup> Вт</b>	35	36	37	38	39	40	20	21	22	23	24	25
<b>F, м<sup>2</sup></b>	0,40	0,42	0,44	0,66	1,23	0,82	0,84	0,92	1,16	0,57	0,47	0,45

### 3. Расчет электрокалориферной установки (ЭКУ) с нагревательными элементами типа «лента»

Задача: рассчитать нагревательные элементы для электрокалорифера при удельной мощности  $W$ , Вт/м<sup>2</sup>. Нагревательные элементы выполнены в виде ленты с соотношением сторон  $\frac{b}{a} = m$ .

Основные исходные данные те же, что и в разделе .2.

#### АЛГОРИТМ РАСЧЕТА

1. Толщина ленты

$$a = \left( \frac{\rho_t P_\phi^2}{2m(m+1)U_\phi^2 W} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

2. Большая сторона лены

$$b = a m \quad (13)$$

3. Площадь поперечного сечения

$$s = a b \quad (14)$$

4. Мощность на одну фазу

$$P_\phi = \frac{P}{3} \quad (15)$$

5. Длина нагревателя

$$l_\phi = \frac{S U_\phi^2}{P_\phi \rho_t} \quad (16)$$

6. Проверочный расчет:

- поверхность нагревателя

$$F_\phi = 2(a + b)l_\phi \quad (17)$$

- удельная поверхностная мощность

$$W = \frac{P_\phi}{F_\phi} \quad (18)$$

Полученное по формуле (18) значение  $W$  должно совпадать с заданным по условию расчета в пределах 5 %. В этом случае выбранное сечение ленты удовлетворяет поставленным условиям.

#### ЗАДАНИЕ № 3

**2.3. Рассчитать нагревательные элементы для электрокалорифера мощностью  $P$ , Вт. Нагреватели выполнены из сплава X20H80H в виде стальной ленты с соотношением сторон  $m = a/b$ .**

Расчет производится по формулам (12) – (18) в соответствии с номером варианта, приведенным в таблице 3.

Исходные данные для расчета:

- температура поверхности нагревателя  $t_n = 180^\circ\text{C}$  ;
- схема соединения «звезда»;
- фазное напряжение  $U_\phi = 220\text{ В}$  ;
- удельное электрическое сопротивление при температуре  $180^\circ\text{ C}$   
 $\rho_{180} = 1,1 \cdot 10^{-6}\text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Таблица 3.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m = a/b$	5	6	7	8	9	10	11	5	6	7	8	9
$W, 10^4\text{ Вт/м}^2$	1,9	1,8	2,0	1,3	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	2,0	2,1
$P, 10^3\text{ Вт}$	39	20	22	24	26	28	40	39	38	37	36	25