

Лабораторная работа № 4

Расчет нагревательных элементов

Цель работ:

1. **Общеобразовательная** – Закрепление знаний по теме « Нагревательные элементы».
2. **Развивающая** - Развитие познавательной активности учащихся.
3. **Воспитательная** – Проверить способность к самоанализу.

Теоретические сведения о расчете нагревательных элементов

Основная задача при расчете электрического нагревательного прибора с отдельными нагревателями сводится к следующему.

Требуется нагреть заданное количество материала известной теплоемкости с какой-либо начальной температурой до определенной конечной температуры в заданное время. Исходя из этих условий, находят сечение и длину нагревателей, питаемых током известного напряжения. Расчет начинается с определения полезного количества теплоты, кДж, необходимой для повышения температуры нагреваемого материала до заданной величины без учета тепловых потерь $Q_{\text{пол}} = c \cdot m(t_k - t_n)$, где m - масса нагревательного материала, кг; t_n – начальная температура материала, $^{\circ}\text{C}$, t_k - конечная температура материала, $^{\circ}\text{C}$; c - удельная теплоемкость материала. кДж (таблица 1).

Таблица 1. Удельная теплоемкость некоторых материалов в интервале температур 0-100 $^{\circ}\text{C}$

Материал	Удельная теплоемкость кДж(кг*град)	Материал	Удельная теплоемкость кДж(кг*град)
Алюминий	0,91	Сталь	0,5
Латунь	0,38	Цинк	0,4
Медь	0,39	Вода	4,2
Нейзильбер	0,4	Дерево	0,24-0,27
Никель	0,45	Строительный кирпич	0,92
Олово	0,23	Сухой песок	0,71-0,92
Свинец	0.13	Хлопчатобумажная ткань	0,25

Определив полезное количество теплоты можно найти общее количество теплоты (кДж). необходимой для нагрева изделия до заданной температуры с учетом излучения теплоты в окружающую среду $Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пол}}/\eta$, где η – КПД нагревательного элемента

Таблица 2. КПД электрических нагревательных приборов

Электрические нагревательные приборы	КПД
Электрические печи сопротивления (для термообработки)	0,6-0,85
Кастрюли и чайники	0,65-0,8
Аккумулирующие электрические водонагреватели	0,85-0,95
Электроплитки закрытого типа	0,6-0,8
Электронагрев форм для прессования	0,5-0,7
Печь сопротивления для сушки материалов	0,2-0,3
Электроплитки открытого типа	0,56

Мощность (кВт) нагревательного прибора определяют по формуле

$$P = \frac{0,00028 k * Q_{\text{общ}}}{t} : \text{где } k \text{ – коэффициент запаса (1,1-1,3), учитывающий напряжение се-}$$

ти, старение нагревательных элементов, увеличение теплоемкости нагреваемого изделия при повышении температуры: t - время нагрева изделий, час. При мощности 5-10 кВт нагреватели изготавливают обычно однофазными. При больших мощностях для равномерной загрузки сети нагреватели лучше делать трехфазными. Затем по технологическим условиям нагрева выбирают материал для нагревательных элементов по таблице 3.

Расчет нагревательных элементов начинается с выбора допустимой удельной поверхностной мощности, т.е. мощности выделяемой с единицы внешней поверхности нагревателя. Для высокотемпературных печей (при температуре более 700-800⁰С) допустимая удельная поверхностная мощность (Вт/м²) $\beta_{\text{доп}} = \beta_{\text{эф}}$, где $\beta_{\text{эф}}$ эффективная удельная поверхностная мощность нагревателей в зависимости от температуры тепловоспринимающей среды (принимается по таблице 4); α – коэффициент эффективности излучения (принимается по таблице 5)

Для низкотемпературных печей (температура менее 200-300⁰С) допустимую поверхностную мощность можно принимать равной (4-6)*10⁴ Вт/м². После выбора материалов и допустимой удельной поверхностной мощности расчет нагревательных элементов сводится к определению их размеров.

Диаметр (м) нагревателя круглого сечения

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\rho P^2}{\pi^2 U^2 \beta_{\text{доп}}}} \text{ где } P - \text{ мощность нагревателей, Вт } U - \text{ напряжение нагревателей, В; } \pi =$$

3,14

$$\text{Длина (м) круглого нагревателя } l = \sqrt[3]{\frac{P * U^2}{4\pi\rho\beta^2_{\text{доп}}}}$$

Толщина (м) ленты нагревательного элемента прямоугольного сечения

$$a = \sqrt[3]{\frac{\rho P^2}{m(m+1)U^2 \beta_{\text{доп}}}}, \text{ где } m = \frac{b}{a} = (5...15), \text{ b- ширина ленты нагревательного элемента, м.}$$

Длина (м) нагревателя, изготовленного из материала прямоугольного сечения с отношением сторон m:

$$l = \sqrt[3]{\frac{2,5 P U^2 m}{(m+1)^2 \rho \beta_{\text{доп}}^2}}$$

Диаметр спирали нагревателя принимают: для хромоалюминиевых сплавов – $D = (4...6)d$; для нихромов и его сплавов – $D = (7...10)d$.

Для устранения местных перегревов спираль необходимо растянуть, чтобы расстояние между витками было в 1,5 ... 2 раза больше диаметра проволоки.

Иногда сечение (мм^2) нагревателей определяют по допустимой плотности тока $S = I/\delta$, где δ - допустимая плотность тока . $\text{А}/\text{мм}^2$ (для нихромовых сплавов равна 4-10); I – ток в нагревателе, А. Ток (А) нагревательных приборов определяется следующим образом

$$\text{Однофазный } I = \frac{P * 1000}{U}; \quad \text{трехфазный } I = \frac{P * 1000}{\sqrt{3} * U}, \text{ где } U - \text{ линейное напряжение, В; } P -$$

мощность нагревателя в кВт. По известному току и рабочему напряжению определяют сопротив-

ление нагревателя (Ом) $R = \frac{U}{I}$. Сопротивление (Ом), выраженное через размеры нагревателя

$$R = \rho \frac{l}{S}, \text{ откуда } l = \frac{R * S}{\rho} (\text{м})$$

Пример: Определить мощность водонагревателя, сечение и длину нагревательных элементов для нагрева воды до 100⁰С, если масса воды 30 кг Время нагрева 0,5 час.

Решение:

1. Количество теплоты требуемое для нагрева воды $Q_{\text{потр}} = cm(t_K^0 - t_H^0) = 4,2 * 30 (100 - 20) = 10080 \text{ кДж}$.

2. Общее количество теплоты с учетом потерь $Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пол}}/\eta, = 10080/0,9 = 11200 \text{ кДж}$.

3. Мощность нагревателей $P = \frac{0,00028 \text{ к} * Q_{\text{общ}}}{t} = 0,00028 * 1,1 * 11200 / 0,5 = 6,9 \text{ кВт} = 6900 \text{ Вт}$.

4. Принимаем, что водонагреватель подключен к сети однофазного ток напряжением 220 В, нагреватель Х20Н80, допустимая удельная поверхностная мощность $\beta_{\text{доп}} = 6 * 10^4 \text{ Вт/м}^2$.

тогда диаметр нагревателя $d = \sqrt[3]{\frac{4\rho P^2}{\pi^2 U^2 \beta_{\text{доп}}}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 1,13 * 6900^2}{10^6 * 3,14^2 * 220^2 * 6 * 10^4}} = 0,00195 \text{ м}$

5. Выбираем по таблице 6 ближайший диаметр – 2мм.

6. Длина нагревателя $l = \sqrt[3]{\frac{P * U^2}{4\pi\rho\beta^2_{\text{доп}}}} = \sqrt[3]{\frac{10^6 * 6900 * 220^2}{4 * 3,14 * 1,13 * (6 * 10^4)^2}} = 19 \text{ м} ;$

7. Определяем ток $I = \frac{P * 1000}{U}; I = \frac{6900 * 1000}{220} = 31 \text{ кА}$

8. Определяем сопротивление $R = \frac{U}{I} = 220/31 * 10^3 = 7 \text{ МОм}$.

Таблица 5 Значение коэффициента эффективности излучения

Размещение нагревателей	Коэффициент α
Проволочные спирали, полузакрытые в пазах футеровки	0,16-0,24
Проволочные спирали на полочках в трубах	0,3-0,36

Проволочные зигзагообразные нагреватели	0,6-0,72
Ленточные зигзагообразные нагреватели	0,38-0,44
Ленточные профилированные нагреватели	0,56-0,7

Таблица 6. Стандартные размеры проволок и лент из различных сплавов

Диаметр проволоки, мм	Диаметр проволоки, мм	Диаметр проволоки, мм	Размеры сечения ленты, мм	Размеры сечения ленты, мм
2	5,6	13	2x10	2,2 x 30
2,2	6,3	14	1,5 x 15	2,5 x 30
2,5	7	15	2 x 15	3 x 30
2,8	8	16	2,2 x 20	2,2 x 36
3,2	9	17	3 x 20	2,5 x 36
3,6	10	18	2,2 x 25	2,2 x 40
4	11	19	2,5 x 25	2,5 x 40
4,5	12	20	3 x 25	3,0 x 40
5				

Таблица 3. Проводниковые сплавы высокого сопротивления

Марка сплава	Рабочая температура, t, °C	Удельное сопротивление ρ , Ом*м, 10^{-6}	Лента				Проволока	
			холоднокатная		горячекатная		холоднокатная	горячекатная
			Толщина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Ширина, мм	Диаметр, мм	
X13Ю4	900	1,18-1,34	0,2-3,2	6-100	1,2-3,2	20-200	0,2-1	6-12
0X23Ю	1150	1,29-1,45					0,3-7,5	
0X23Ю 5	1175	1,3-1,4					0,3-7,5	
0X27 Ю5А	1250	1,37-1,47					0,5-5,5	
X25H2 0	900	0,83-0,96					0,2-10	

X15H6 0	950	1,06-1,17	0,1-3,2	4-100	1,2-3,2	20-200	0,1-1	6-12
X15H6 0-Н	1050	1,06-1,17						
X20H8 0	1050	1,2						
X20H8 0-Н	1150	1,1						

Примечание Холоднокатая лента выпускается следующей ширины 4,6,8,10,12, 14,15,16,18,20,25,30,32,36,40,45,50,60,80,100 м

Таблица 4. Эффективная удельная поверхностная мощность нагревателя в зависимости от температуры тепловоспринимающей среды

Температура тепло- воспринимающей по- верхности, °С	Wэф, Вт/см ² , при температуре нагревателя, °С											
	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350
100	6,1	7,3	8,7	10,3	12,5	14,15	16,4	19	21,8	24,9	28,4	36,3
200	5,9	7,15	8,55	10,15	12	14	16,25	18,85	21,65	24,75	28,2	36,1
300	5,65	6,85	8,3	9,9	11,7	13,75	16	18,6	21,35	24,5	27,9	35,8
400	5,2	6,45	7,85	9,45	11,25	13,3	15,55	18,1	20,9	24	27,45	35,4
500	4,5	5,7	7,15	8,8	10,55	12,6	14,85	17,4	20,2	23,3	26,8	34,6
600	3,5	4,7	6,1	7,7	9,5	11,5	13,8	16,4	19,3	22,3	25,7	33,7
700	2	3,2	4,6	6,25	8,05	10	12,4	14,9	17,7	20,8	24,3	32,2
800		1,25	2,65	4,2	6,05	8,1	10,4	12,9	15,7	18,8	22,3	30,2
850	-	-	1,4	3	4,8	6,85	9,1	11,7	14,5	17,6	21	29
900	-	-	-	1,55	3,4	5,45	7,75	10,3	13	16,2	19,6	27,6

950	-	-	-	-	1,8	3,85	6,15	8,65	11,5	214,5	18,1	26
1000	-	-	-	-	-	2,05	4,3	6,85	9,7	12,75	16,25	24,2
1050	-	-	-	-	-	-	2,3	4,8	7,65	10,75	14,25	22,2
1100	-	-	-	-	-	-	-	2,55	5,35	8,5	12	19,8
1150	-	-	-	-	-	-	-	-	2,85	5,95	9,4	17,55
1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,15	6,55	14,55
1300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,95

Задание для выполнения задачи № 2.

Пример : Определить мощность водонагревателя, сечение и длину нагревательных элементов для нагрева воды до 100⁰С, а также определить ток.

Таблица

№ варианта	Масса воды. кг	Время нагрева, час.	Напряжение сети. в
1	25	0,5	220
2	30	0,7	380
3	35	0,8	220
4	40	0,9	380
5	45	1	380
6	50	1	220
7	30	0,7	220
8	35	0,6	380
9	40	1	220
10	28	0,7	380

11	29	0,6	220
12	31	0,7	380
13	32	0,9	220
14	35	0,8	380
15	30	0,6	220

