

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

### Расчет электродного водонагревателя.

**Задание.** Для электродного водонагревателя согласно таблице вариантов:

1. Определить мощность водонагревателя, начертить график изменения мощности в процессе нагрева.
2. Рассчитать параметры электродной системы и проверить по  $j_{\text{доп}}$  и  $E_{\text{доп}}$ . Сделать эскиз электродной системы и указать размеры.

Таблица 1 - Таблица вариантов

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
m, кг	120	130	140	150	100	110	160	180	190	200	180	190
$t_k, ^\circ\text{C}$	85	80	95	100	83	87	90	95	85	83	83	87
$t_H, ^\circ\text{C}$	5	4	8	10	9	8	6	5	7	10	8	6
$\tau$ , час	1	1,2	1,3	1,5	2,2	2	2,3	2,2	2	2,5	2,2	2
$\rho_{20}$ , Ом·м	21	20	23	22	25	26	28	24	27	25	27	25
$U_{\phi}$ , В	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220
Система электродов	П	К	П	К	К	П	К	П	П	К	К	П

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Расчет электродных систем водонагревателей заключается в выборе рациональной формы электродов, в определении их размеров, мощности и диапазона ее регулирования, проверке работоспособности аппарата по напряженности поля и плотности тока на электродах.

1. Полезная энергия, необходимая для нагрева:

$$E_{\text{пол}} = P_{\text{ср}} \cdot \tau = \frac{mc(t_k - t_H)}{\eta}, \text{ кДж} \quad (1)$$

Результаты расчета по формуле (1)

---

---

---

---

---

---

где  $P_{cp}$  – средняя за период нагрева мощность водонагревателя, кВт

$\tau$ - время нагрева; с

$m$  – масса нагреваемой воды, кг

$c$ - теплоемкость воды, принимается  $4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$

$t_k, t_H$  – конечная и начальная температура воды

$\eta$  – к.п.д. водонагревателя, принимается в пределах 0,9ч0,97

2. Удельное сопротивление воды при любой температуре,

$$\rho_t = \frac{\rho_{20}}{1 + \alpha\theta}, \text{ Ом*м} \quad (2)$$

Результаты расчета по формуле (2)

---

---

---

---

---

---

---

---

где  $\rho_{20}$ - удельное сопротивление воды при  $20^\circ\text{C}$ , Ом м

$\theta = t_{-20}$ -превышение температуры воды над  $20^\circ\text{C}$

$$\alpha = \frac{1}{t_H + 20} \text{-температурный коэффициент проводимости воды} \quad (3)$$

Результаты расчета по формуле (3)

---

---

---

---

---

---

---

---

$$P_H = \frac{t_H + 20}{t_H + t_K + 40} 2P_{cp}, \text{ Вт} \quad (4)$$

Результаты расчета по формуле (4)

---

---

---

---

---

$$P_k = \frac{t_k + 20}{t_H + t_K + 40} 2P_{cp}, \text{ Вт} \quad (5)$$

Результаты расчета по формуле (5)

---

---

---

---

---

3. Расчет электродной системы должен производиться по максимальной мощности в конце нагрева.

Расстояние между электродами:

$$l = \frac{U_\phi}{E_{фак}}, \text{ м} \quad (6)$$

Результаты расчета по формуле (6)

---

---

---

---

---

где  $U_\phi$  - фазное напряжение, В

$E_{фак}$  – фактическая напряженность электрического поля между электродами, В/м, определяется из выражения

$$E_{фак} = j_{доп} \cdot \rho_k \cdot 0,1 \text{ В/м}, \quad (7)$$

Результаты расчета по формуле (7)

---

---

---

---

---

где -  $\rho_k$  – удельное сопротивление воды в конце нагрева, Ом м

$j_{доп}$  – допустимая плотность тока на электродах, вычисляется по эмпирической формуле:

$$j_{доп} = \frac{16 \cdot 10^3}{\sqrt{\rho_k}}, \text{ А/м}^2 \quad (8)$$

Результаты расчета по формуле (8)

---

---

---

---

---

Диаметр бака водонагревателя определяется исходя из принятой электродной системы и из условий:

$D > 6 \ell$  при плоских электродах

$D > 3 \ell$  при круглых электродах

4. Ширина “ $b$ ” плоских или диаметр “ $d$ ” круглых электродов принимается:

$$b \leq \frac{1}{3} D, \text{ м} \quad (9)$$

Результаты расчета по формуле (9)

---

---

---

---

---

$$d = (0.02 \dots 0.2) D, \text{ м} \quad (10)$$

Результаты расчета по формуле (10)

---

---

---

---

---

5. Геометрический коэффициент электродной системы:

$$K = \frac{(n-1)\ell}{b} \quad (11)$$

Результаты расчета по формуле (11)

---

---

---

---

---

$$K = \frac{1}{2\pi} \ell g \frac{D}{d} \quad (12)$$

Результаты расчета по формуле (12)

---

---

---

---

---

где  $n$  – количество плоских электродов

5. Высота активной части электродов

$$h = \frac{\kappa \rho_{\kappa}}{R_{\phi}} \text{ , м} \quad (13)$$

Результаты расчета по формуле (13)

---

---

---

---

---

---

---

---

$$R_{\phi} = \frac{U^2}{\frac{1}{3} P_k}, \text{ Ом} \quad (14)$$

Результаты расчета по формуле (14)

---

---

---

---

---

где  $R_{\phi}$  - сопротивление столба воды на одну фазу

$\rho_k, P_k$  - удельное сопротивление воды и мощность водонагревателя в конце нагрева

6. Рассчитанная электродная система проверяется на допустимую плотность тока на электродах и допустимую напряженность электрического поля между электродами:

$$j_{\text{макс}} = \frac{K_H \cdot I_k}{S} < j_{\text{дон}}, \text{ А/м}^2 \quad (15)$$

Результаты расчета по формуле (15)

---

---

---

---

---

$$E_{\text{макс}} = \frac{U}{\ell} < E_{\text{дон}}, \text{ В/м} \quad (16)$$

Результаты расчета по формуле (16)

---

---

---

---

---

---

где  $S$  – площадь электрода,  $m^2$ ;  
линейный ток в конце нагрева

$$I_k = \frac{P_2}{\sqrt{3}U}, A \quad (17)$$

Результаты расчета по формуле (9)

---

---

---

---

$K_n=1,1-1,4$  – коэффициент неравномерности плотности тока на поверхности электродов.

$E_{доп}$  – допустимая напряженность электрического поля, принимается из таблицы 2

Таблица 2 - Допустимая напряженность электрического поля

$\rho_k, \text{ Ом м}$	2,5	5	7	20
$E_{доп}, \frac{В}{м}$	10000	25000	40000	80000