

## 2 ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ СЕКЦИОННОГО ВОДО-ВОДЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Расчёт секционного водо-водяного подогревателя заключается в определении общей площади поверхности теплообмена и необходимого количества секций. Греющим и нагреваемым теплоносителями является вода. Причём, греющий теплоноситель движется по трубкам теплообменника, а нагреваемая вода – в межтрубном пространстве.

**Задание.** Произвести расчёт секционного водо-водяного подогревателя производительностью  $Q = 2,9 \cdot 10^6$ , Вт. Температура нагреваемой воды при входе в подогреватель  $t'_2 = 70^\circ\text{C}$ , при выходе  $t''_2 = 95^\circ\text{C}$ . Температура греющей (сетевой) воды при входе в подогреватель  $t'_1 = 140^\circ\text{C}$ , при выходе  $t''_1 = 80^\circ\text{C}$ . Поверхность нагрева выполнена из стальных трубок диаметром  $d_{\text{в}}/d_{\text{н}} = 21/25$  мм. Влияние загрязнения поверхности нагрева и снижения коэффициента теплопередачи учесть коэффициентом  $\beta=0,70$ . Скорость воды в трубках принять равной  $\omega = 1,7$ , м/с.

### Расчёт

Находим среднюю температуру:

$$t_{1\text{ ср}} = \frac{t'_1 + t''_1}{2} = \frac{140 + 80}{2} = 110^\circ\text{C}.$$

Кинематическую вязкость, интерполируя значения из таблицы ([1], табл. П8):

$$\nu = 0,272 \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

Плотность воды:  $\rho_{\text{в}} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Определяем массовый и объёмный расход сетевой воды в трубках и воды, нагреваемой в межтрубном пространстве:

$$G_T = \frac{Q}{c_p(t'_1 - t''_1)} = \frac{2,9 \cdot 10^6}{4,233 \cdot 10^3 (140 - 80)} = 11,4, \text{ кг/с}; \quad (19)$$

$$G_{\text{MT}} = 27,6, \text{ кг/с};$$

$$V_T = \frac{G_T}{\rho_{\text{в}}} = \frac{11,4}{1000} = 0,011 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (20)$$

$$V_{\text{MT}} = 0,028 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Площадь проходного сечения трубок:

$$f_T = \frac{V_T}{\omega_T} = \frac{0,011}{1,7} = 0,0067 \text{ м}^2. \quad (21)$$

По площади  $f_T$  по каталогу выбираем секционный водо-водяной подогреватель (МВН 2050-31), выписываем его технические характеристики:

— количество и длина трубок: 69×2046;

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- поверхность нагрева: 6,30 м<sup>2</sup>;
- площадь проходных сечений по трубам: 0,00935 м<sup>2</sup>;
- площадь проходных сечений между трубами: 0,0198 м<sup>2</sup>;
- эквивалентный диаметр сечения между трубами: 0,0193 м.

Далее уточняем скорость движения воды в трубках и межтрубном пространстве:

$$\omega_T = \frac{V_T}{f_T} = \frac{0,011}{0,00935} = 1,22 \text{ м/с}; \quad (22)$$

$$\omega_{MT} = \frac{V_{MT}}{f_{MT}} = \frac{0,028}{0,0198} = 1,16 \text{ м/с}. \quad (23)$$

Определяем эквивалентный диаметр для межтрубного пространства:

$$d_{\Omega} = \frac{4 \cdot f_{MT}}{P} = \frac{4 \cdot 0,0198}{6,83} = 0,012 \text{ м}, \quad (24)$$

где  $P$  – периметр межтрубного пространства:

$$P = \pi \cdot (d_H \cdot n + D_B) = 3,14 \cdot (0,025 \cdot 69 + 0,45) = 6,83 \text{ м}. \quad (25)$$

Средняя температура воды в трубках и в межтрубном пространстве:

$$t_1 = 0,5 \cdot (t_1'' + t_1') = 0,5 \cdot (140 + 80) = 110^\circ\text{C}; \quad (30)$$

$$t_2 = 0,5 \cdot (t_2'' + t_2') = 0,5 \cdot (95 + 70) = 82,5^\circ\text{C}. \quad (31)$$

Выбираем температурный множитель  $A_{5T}$  по температуре  $t_1$  ([1], табл. ПЗ), а по температуре  $t_2$  – температурный множитель  $A_{5MT}$ :

$$A_5 = 3400,$$

$$A_{5MT} = 3025.$$

Далее определяем режим течения воды в трубках и межтрубном пространстве. Режим течения воды является турбулентным при значениях критерия  $Re > 10^4$ :

$$Re_T = \frac{\omega_T \cdot d_B}{\nu_T} = \frac{1,7 \cdot 0,013}{0,272 \cdot 10^{-6}} = 82125, \quad (26)$$

$$\text{где } d_B = \sqrt{\frac{4 \cdot f_T}{\pi \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00935}{3,14 \cdot 69}} = 0,013;$$

$$Re_{MT} = \frac{\omega_{MT} \cdot d_{\Omega}}{\nu_{MT}} = \frac{1,16 \cdot 0,0124}{0,355 \cdot 10^{-6}} = 37957.$$

Если режим течения воды в трубках турбулентный, то коэффициент теплоотдачи при движении воды в трубках и межтрубном пространстве равен:

$$\alpha_T = A_{5T} \frac{\omega_T^{0,8}}{d_B^{0,2}} = 3400 \frac{1,7^{0,8}}{0,013^{0,2}} = 12543 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}; \quad (27)$$

$$\alpha_{MT} = A_{5MT} \frac{\omega_{MT}^{0,8}}{d_{\Omega}^{0,2}} = 3025 \frac{1,16^{0,8}}{0,0124^{0,2}} = 8453 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Определяем коэффициент теплопередачи как для плоской стенки:

$$K = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_T} + \frac{\delta}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_{MT}}} = \frac{0,7}{\frac{1}{12543} + \frac{(0,025 - 0,021)}{2,45} + \frac{1}{8453}} = 2887 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}. \quad (28)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

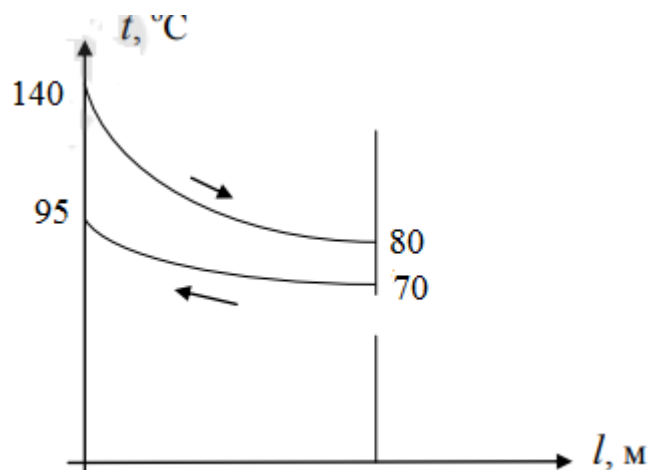


Рисунок 2 – Температурный график водо-водяного теплообмена

Определяем средний температурный напор:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{45 - 10}{\ln \frac{45}{10}} = 23,27^\circ\text{C}, \quad (29)$$

где  $\Delta t_{max} = t'_1 - t''_2 = 140 - 95 = 45^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{min} = t''_1 - t'_2 = 80 - 70 = 10^\circ\text{C}$ .

Определяем расчётную поверхность нагрева:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{2,9 \cdot 10^6}{2887 \cdot 23,27} = 43,2 \text{ м}^2. \quad (30)$$

Далее, зная площадь поверхности нагрева одной секции выбранного подогревателя (и длину трубок), рассчитываем количество секций и уточнённую поверхность нагрева, которая должна быть не меньше, чем расчётная поверхность нагрева подогревателя.

$$z = \frac{F}{F'} = \frac{43,2}{6,30} = 7 \text{ секций.}$$

Затем определяем длину хода воды в трубках и межтрубном пространстве:

$$L_T = l_T \cdot z = 2046 \cdot 7 = 14322 \text{ мм}, \quad (31)$$

$$L_{MT} = (l_T - 0,5) \cdot z = (2046 - 500) \cdot 7 = 10822 \text{ мм}. \quad (32)$$

Определяем гидравлические потери в подогревателе в трубном и межтрубном пространстве с учётом дополнительных потерь от шероховатости в результате загрязнения трубок и потерь от местных сопротивлений, которые определяются по таблице ([1], табл. П3):

$$\begin{aligned} \lambda_T &= 0,0184 + \frac{0,0179 - 0,0184}{10} (82,125 - 80) = 0,0181, \\ \sum \xi_T &= 1,5 + 2,5(z - 1) + 1,5 = 3 + 2,5(7 - 1) = 18, \\ \Delta P &= \left( \frac{\lambda_T \cdot L \cdot \chi}{d_B} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2g} = \left( \frac{0,0181 \cdot 14,322 \cdot 1}{0,013} + 18 \right) \cdot \frac{1,7^2 \cdot 1000}{2 \cdot 9,8} = 5558 \text{ Па}, \end{aligned} \quad (33)$$

$$\lambda_{MT} = 0,022,$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta P = \left( \frac{\lambda_T \cdot L \cdot \chi}{d_B} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2g} = \left( \frac{0,022 \cdot 10,822 \cdot 1}{0,012} + 94,5 \right) \cdot \frac{1,16^2 \cdot 1000}{2 \cdot 9,8} = 7899 \text{ Па},$$

Определяем диаметры патрубков:

И колен:

$$d_{\Pi} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{MT}}{\omega_{MT}}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,028}{1,16}} = 0,159 \text{ мм.}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		