

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 $Q = 2,3 \cdot 10^6$, МВт. Температура нагреваемой воды при входе в подогреватель $t'_2 = 58^\circ\text{C}$, при выходе $t''_2 = 90^\circ\text{C}$. Температура греющей (сетевой) воды при входе в подогреватель $t'_1 = 125^\circ\text{C}$, при выходе $t''_1 = 70^\circ\text{C}$. Поверхность нагрева выполнена из латунных трубок диаметром $d_b/d_n = 21/25$ мм. Влияние загрязнения поверхности нагрева и снижения коэффициента теплопередачи учесть коэффициентом $\beta=0,70$. Скорость воды в трубках принять равной $\omega = 1,8$, м/с.

Расчёт

Находим среднюю температуру:

$$t_{1\text{ ср}} = \frac{t'_1 + t''_1}{2} = \frac{125 + 70}{2} = 97,5^\circ\text{C}.$$

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

$$\nu = 0,326 + \frac{0,295 - 0,326}{(373 - 363)} (370,5 - 363) = 0,303 \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

Плотность воды: $\rho_b = 1000 \text{ кг/м}^3$.

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

$$G_T = \frac{Q}{c_p(t'_1 - t''_1)} = \frac{2,3 \cdot 10^6}{4,217 \cdot 10^3 (125 - 70)} = 9,92, \text{ кг/с}; \quad (23)$$

$$G_{MT} = 17,15, \text{ кг/с};$$

$$V_T = \frac{G_T}{\rho_b} = \frac{9,92}{1000} = 0,0099 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (24)$$

$$V_{MT} = 0,0172 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Площадь проходного сечения трубок:

$$f_T = \frac{V_T}{\omega_T} = \frac{0,0099}{1,8} = 0,0055 \text{ м}^2. \quad (25)$$

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

- количество и длина трубок: 69×2046;
- поверхность нагрева: 6,30 м²;

					КР 1-51 02 02. 21.21.17		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Газиянц Б.В.				Тепловой конструктивный расчёт вертикального водо-водяного подогревателя	Лит.	Лист
Провер.	Никулина Т.Н.						Листов
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О. Сухого Гр. НР-21	
Утв.							

- площадь проходных сечений по трубам: 0,00935 м²;
- площадь проходных сечений между трубами: 0,0198 м²;
- эквивалентный диаметр сечения между трубами: 0,0193 м.

Далее уточняем скорость движения воды в трубках и межтрубном пространстве:

$$\omega_T = \frac{V_T}{f_T} = \frac{0,0099}{0,00935} = 1,06 \text{ м/с.} \quad (26)$$

$$\omega_{MT} = \frac{V_{MT}}{f_{MT}} = \frac{0,0172}{0,0198} = 0,86 \text{ м/с.} \quad (27)$$

Определяем эквивалентный диаметр для межтрубного пространства:

$$d_{\Omega} = \frac{4 \cdot f_{MT}}{P} = \frac{4 \cdot 0,0198}{6,7} = 0,0118 \text{ м.} \quad (28)$$

где P – периметр межтрубного пространства:

$$P = \pi \cdot (d_H \cdot n + D_B) = 3,14 \cdot (0,025 \cdot 69 + 0,41) = 6,7 \text{ м.} \quad (29)$$

Средняя температура воды в трубках и в межтрубном пространстве:

$$t_1 = 0,5 \cdot (t_1'' + t_1') = 0,5 \cdot (125 + 70) = 97,5^\circ\text{C}; \quad (30)$$

$$t_2 = 0,5 \cdot (t_2'' + t_2') = 0,5 \cdot (58 + 90) = 74^\circ\text{C.} \quad (31)$$

Выбираем температурный множитель A_{5T} по температуре t_1 ([1], табл. П3), а по температуре t_2 – температурный множитель A_{5MT} :

$$A_5 = 3100 + \frac{3300-3100}{10} (97,5 - 90) = 3250, \\ A_{5MT} = 2880.$$

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

$$Re_T = \frac{\omega_T \cdot d_B}{\nu_T} = \frac{1,8 \cdot 0,013}{0,303 \cdot 10^{-6}} = 7,72 \cdot 10^4. \quad (32)$$

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

$$Re_{MT} = \frac{\omega_{MT} \cdot d_{\Omega}}{\nu_{MT}} = \frac{0,86 \cdot 0,018}{0,395 \cdot 10^{-6}} = 3,92 \cdot 10^4.$$

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

$$\alpha_T = A_{5T} \frac{\omega_T^{0,8}}{d_B^{0,2}} = 3250 \frac{1,06^{0,8}}{0,013^{0,2}} = 8116 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}; \quad (33)$$

$$\alpha_{MT} = A_{5MT} \frac{\omega_{MT}^{0,8}}{d_{\Omega}^{0,2}} = 2880 \frac{0,86^{0,8}}{0,0118^{0,2}} = 6203 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

					КР 1-51 02 02. 21.21.17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определяем коэффициент теплопередачи как для плоской стенки:

$$K = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_T} + \frac{\delta}{\lambda_{СТ}} + \frac{1}{\alpha_{MT}}} = \frac{0,7}{\frac{1}{8116} + \frac{(0,025-0,021)}{2 \cdot 45} + \frac{1}{6203}} = 2128 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (34)$$

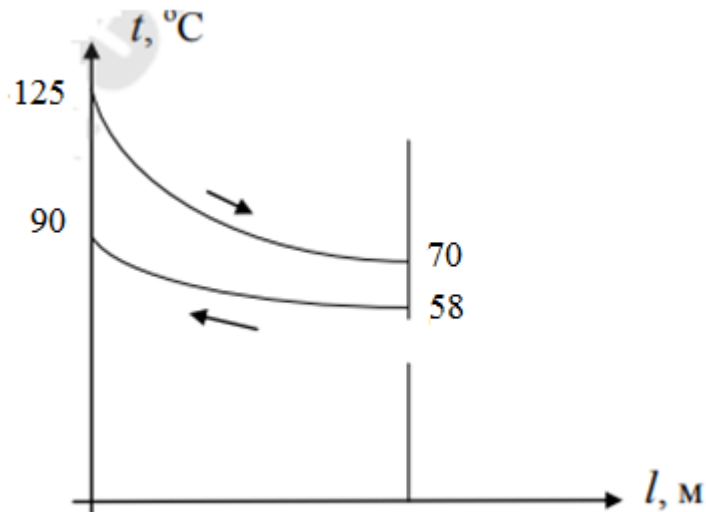


Рис. 2. Температурный график водо-водяного теплообменника.

Определяем средний температурный напор:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{35 - 12}{\ln \frac{35}{12}} = 21,49^\circ\text{C}. \quad (35)$$

где $\Delta t_{max} = t'_1 - t''_2 = 125 - 90 = 35^\circ\text{C}$, $\Delta t_{min} = t''_1 - t'_2 = 70 - 58 = 12^\circ\text{C}$.

Определяем расчётную поверхность нагрева:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{2,3 \cdot 10^6}{2128 \cdot 21,49} = 50,29 \text{ м}^2. \quad (36)$$

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.

$$z = \frac{F}{F'} = \frac{50,29}{6,30} = 7 \text{ секций}.$$

Затем определяем длину хода воды в трубках и межтрубном пространстве:

$$L_T = l_T \cdot z = 2046 \cdot 7 = 14322 \text{ мм}, \quad (37)$$

$$L_{MT} = (l_T - 0,5) \cdot z = (2,046 - 0,5) \cdot 7 = 10882 \text{ мм}. \quad (38)$$

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. ПЗ):

$$\lambda_T = 0,0186,$$

					КР 1-51 02 02. 21.21.17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sum \xi_T = 1,5 + 2,5(z - 1) + 1,5 = 3 + 2,5(7 - 1) = 18,$$

$$\Delta P = \left(\frac{\lambda_T \cdot L \cdot \chi}{d_B} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2g} = \left(\frac{0,0186 \cdot 14,322 \cdot 1}{0,013} + 18 \right) \cdot \frac{1,06^2 \cdot 1000}{2 \cdot 9,8} = 2207 \text{ Па.} \quad (39)$$

$$\lambda_{MT} = 0,023 + \frac{0,0215 - 0,023}{20} (39,2 - 30) = 0,0216, \quad \sum \xi_{MT} = 13,5 \cdot 7 = 94,5. \quad (40)$$

$$\Delta P = \left(\frac{\lambda_T \cdot L \cdot \chi}{d_B} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2g} = \left(\frac{0,0216 \cdot 10,882 \cdot 1}{0,0118} + 94,5 \right) \cdot \frac{0,86^2 \cdot 1000}{2 \cdot 9,8} = 4318 \text{ Па,}$$

где χ – для новых (чистых) латунных трубок принимается 1,0; λ_T – коэффициент гидравлического трения, принимается по уточнённому значению критерия Re по таблице ([1], табл. П4).

Определяем диаметры патрубков:

$$d_K = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_T}{\omega_T}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,0099}{1,06}} = 0,109 \text{ мм.} \quad (41)$$

И колен:

$$d_{\Pi} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{MT}}{\omega_{MT}}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,0172}{0,86}} = 0,1598 \text{ мм.}$$

					КР 1-51 02 02. 21.21.17	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		