

### 3. ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПАРОВОДЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

**Задание.** Произвести конструктивный тепловой расчёт четырёхходового вертикального пароводяного подогревателя при следующих заданных условиях: производительность аппарата  $Q = 18 \cdot 10^6$ , МВт; параметры греющего пара: давление  $P = 0,3$ , энтальпия  $h = 2774,16$ , температура насыщенного пара  $t_H = 133,54^\circ\text{C}$ ; энтальпия конденсата на выходе из теплообменника. Температура нагреваемой воды при входе в подогреватель  $t'_2 = 63^\circ\text{C}$ , при выходе  $t''_2 = 115^\circ\text{C}$ . Поверхность нагрева выполнена из латунных трубок диаметром  $d_B/d_H = 21/25$  мм. Вода проходит по трубам, а пар поступает в межтрубное пространство. Высота трубок в одном ходе  $H = 4$  м. Толщина накипи  $\delta_H = 0,0002$  м,  $\lambda_H = 2$  Вт/(м · К).

#### Расчёт

Определяем расход пара:

$$D = \frac{Q}{(h-h_H)} = \frac{18 \cdot 10^6}{(2774,16-561,4)} = 8,135 \text{ кг/с.} \quad (42)$$

И объёмный расход воды:

$$V = \frac{Q}{c_p \cdot (t''_2 - t'_2) \cdot \rho} = \frac{18 \cdot 10^6}{4,207 \cdot 10^3 \cdot (115-63) \cdot 1000} = 0,0823 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (43)$$

Средняя логарифмическая разность температур теплоносителей в подогревателе:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{(133,54-63)-(145-115)}{\ln \frac{(133,54-63)}{(145-115)}} = 47,42^\circ\text{C}, \quad (44)$$

где  $\Delta t_{max} = t_H - t'_2$ ,  $\Delta t_{min} = t - t''_2$ .

Далее применяем методику упрощённого графоаналитического метода расчёта удельного теплового потока. Для этого предварительно для различных участков процесса теплопередачи находим тепловозависимость между удельным тепловым напряжением и перепадом температур на данном участке:

А) рассмотрим процесс теплоотдачи от пара стенке. Коэффициент теплоотдачи пара определяется по формуле Нуссельта:

$$\alpha_{II} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11673,28}{4^{0,25} \cdot 23,71^{0,25}} = 4990, \quad (45)$$

где  $B = 5700 + 56 \cdot t_H - 0,09 \cdot t_H^2 = 5700 + 56 \cdot 133,54 - 0,09 \cdot 133,54^2 = 11673,28$ ,

$\Delta t = t_H - t_{CT} = 133,54 - 109,83 = 23,71^\circ\text{C}$ ,

$t_{CT} = 0,5 \cdot ((t_H - \Delta t_{CP}) + t_H) = 0,5 \cdot ((133,54 - 47,42) + 133,54) = 109,83^\circ\text{C}$ .

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

Б) рассмотрим процесс теплопроводности через стенку. Теплозависимость имеет следующий вид:

$$q_2 = \frac{\lambda_{\text{СТ}}}{\delta_{\text{СТ}}} \cdot \Delta t_2 = \frac{45}{0,002} \cdot \Delta t_2 = 22500 \cdot \Delta t_2. \quad (46)$$

Откуда:

$$\Delta t_2 = \frac{q_2}{22500} = \frac{5000}{22500} = 0,2^\circ\text{C}.$$

В) рассмотрим процесс теплопроводности через слой накипи. Теплозависимость имеет следующий вид:

$$q_3 = \frac{\lambda_{\text{Н}}}{\delta_{\text{Н}}} \cdot \Delta t_3 = \frac{2}{0,0002} \cdot \Delta t_3 = 10000 \cdot \Delta t_3. \quad (47)$$

$$\Delta t_3 = \frac{5000}{10000} = 0,5^\circ\text{C}.$$

Г) теплоотдача от стенки воде.

Скорость воды в пароводяных подогревателях обычно составляет 1-3 м/с, движение воды – турбулентное, поэтому задавшись предварительно скоростью воды, пользуемся упрощённой формулой:

$$\alpha_4 = \alpha_{\text{В}} = A_5 \cdot \frac{\omega_T^{0,8}}{d_B^{0,2}} = 2880 \cdot \frac{1,8^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 9981. \quad (48)$$

Имеем теплозависимость вида:

$$q_4 = \alpha_4 \cdot \Delta t_4 = 9981 \cdot \Delta t_4;$$

$$\Delta t_4 = \frac{5000}{9981} = 0,51^\circ\text{C}.$$

Складывая ординаты четырёх зависимостей, строим суммарную теплозависимость:

$$\sum \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 = 1,02 + 0,2 + 0,5 + 0,51 = 2,23^\circ\text{C}.$$

Рассчитываем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{CP}}} = \frac{5000}{2,23} = 2242 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (49)$$

Площадь поверхности нагрева теплообменника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{18 \cdot 10^6}{2242 \cdot 47,42} = 169 \text{ м}^2. \quad (50)$$

По расчётной площади поверхности нагрева и диаметру трубок по каталогу выбираем вертикальный пароводяной подогреватель и выписываем его технические характеристики: площадь поверхности нагрева  $F = 209 \text{ м}^2$ , число труб  $n = 666$ .

Уточняем скорость течения воды в трубках выбранного подогревателя:

$$\omega = \frac{4 \cdot V \cdot z}{n \cdot \pi \cdot d_B^2} = \frac{4 \cdot 0,0823 \cdot 4}{666 \cdot 3,14 \cdot 0,021^2} = 1,4 \text{ м/с}. \quad (51)$$

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

Уточняем коэффициент теплоотдачи пара:

$$\alpha_{\text{П}} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11673,28}{4^{0,25} \cdot 23,71^{0,25}} = 4990 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Уточняем коэффициент теплоотдачи при движении воды в трубках:

$$\alpha_{\text{В}} = 2880 \cdot \frac{1,06^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 6534 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Уточняем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{П}}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{\delta_{\text{Н}}}{\lambda_{\text{Н}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{В}}}} = \frac{1}{\frac{1}{4990} + \frac{0,002}{45} + \frac{0,0002}{2} + \frac{1}{9981}} = 2247 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (52)$$

Необходимая площадь поверхности нагрева не должна превышать действительной площади поверхности нагрева выбранного подогревателя.

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{18 \cdot 10^6}{4239 \cdot 47,42} = 90 \text{ м}^2.$$

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