

### 3. ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПАРОВОДОЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

**Задание.** Произвести конструктивный тепловой расчёт четырёхходового вертикального пароводяного подогревателя при следующих заданных условиях: производительность аппарата  $Q = 23 \cdot 10^6$ , МВт; параметры греющего пара: давление  $P = 0,29$ , энтальпия  $h = 2744,66$ , температура насыщенного пара  $t_H = 132,39^\circ\text{C}$ ; энтальпия конденсата на выходе из теплообменника. Температура нагреваемой воды при входе в подогреватель  $t'_2 = 65^\circ\text{C}$ , при выходе  $t''_2 = 117^\circ\text{C}$ . 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:

$$D = \frac{Q}{(h-h_H)} = \frac{23 \cdot 10^6}{(2744,66-556,5)} = 10,511 \text{ кг/с. (42)}$$

И объёмный расход воды:

$$V = \frac{Q}{c_p \cdot (t''_2 - t'_2) \cdot \rho} = \frac{23 \cdot 10^6}{4,2 \cdot 10^3 \cdot (117-65) \cdot 1000} = 0,105 \text{ м}^3/\text{с. (43)}$$

Средняя логарифмическая разность температур теплоносителей в подогревателе:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{(132,39-65)-(142-117)}{\ln \frac{(132,39-65)}{(142-111)}} = 42,75^\circ\text{C, (44)}$$

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 тепловязисимость между удельным тепловым напряжением и перепадом температур на данном участке:

А) рассмотрим процесс теплоотдачи от пара стенке.

$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1$ . Коэффициент теплоотдачи пара определяется по формуле Нуссельта:

$$\alpha_{\Pi} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11536}{4^{0,25} \cdot 21,37^{0,25}} = 3794, (45)$$

где  $B = 5700 + 56 \cdot t_H - 0,09 \cdot t_H^2 = 5700 + 56 \cdot 132,39 - 0,09 \cdot 132,39^2 = 11536$ ,  
 $\Delta t = t_H - t_{CT} = 132,39 - 111,02 = 21,37^\circ\text{C}$ ,

$t_{CT} = 0,5 \cdot ((t_H - \Delta t_{CP}) + t_H) = 0,5 \cdot ((132,39 - 42,75) + 132,39) = 111,02^\circ\text{C}$ .

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

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

Откуда:

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

					КР 1 51 02 02. 21.21.80					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.	Шатон В.				Тепловой конструктивный расчёт вертикального пароводяного подогревателя			Лит.	Лист	Листов
Провер.	Никулина Т.Н.									
Н. Контр.								ГГТУ им. П.О. Сухого Гр. НР-21		
Утв.										

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

$$q_3 = \frac{\lambda_n}{\delta_n} \cdot \Delta t_3 = \frac{2}{0,0002} \cdot \Delta t_3 = 10000 \cdot \Delta t_3; (47)$$

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

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:

$$\alpha_4 = \alpha_B = A_5 \cdot \frac{\omega_T^{0,8}}{d_B^{0,2}} = 3025 \cdot \frac{1,4^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 8574. (48)$$

Имеем теплозависимость вида:

$$q_4 = \alpha_4 \cdot \Delta t_4 = 8574 \cdot \Delta t_4;$$

$$\Delta t_4 = \frac{5000}{8574} = 0,58^\circ\text{C}.$$

Складывая ординаты четырёх зависимостей, строим суммарную теплозависимость:

$$\sum \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 = 1,32 + 0,2 + 0,5 + 0,58 = 2,6^\circ\text{C}.$$

Рассчитываем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{CP}}} = \frac{5000}{2,6} = 1923 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). (49)$$

Площадь поверхности нагрева теплообменника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{23 \cdot 10^6}{1923 \cdot 42,75} = 279 \text{ м}^2. (50)$$

По расчётной площади поверхности нагрева и диаметру трубок по каталогу выбираем вертикальный пароводяной подогреватель и выписываем его технические характеристики: площадь поверхности нагрева  $F = 310 \text{ м}^2$ , число труб  $n = 986$ .

Уточняем скорость течения воды в трубках выбранного подогревателя:

$$\omega = \frac{4 \cdot V \cdot z}{n \cdot \pi \cdot d_B^2} = \frac{4 \cdot 0,105 \cdot 4}{986 \cdot 3,14 \cdot 0,021^2} = 1,23 \text{ м/с}. (51)$$

Уточняем коэффициент теплоотдачи при движении воды в трубках:

$$\alpha_{\Pi} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11536}{4^{0,25} \cdot 1,32^{0,25}} = 7610 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Уточняем коэффициент теплоотдачи пара:

$$\alpha_B = 3025 \cdot \frac{1,23^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 7730 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Уточняем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\Pi}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_B}} = \frac{1}{\frac{1}{7610} + \frac{0,002}{45} + \frac{0,0002}{2} + \frac{1}{7730}} = 2469 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). (52)$$

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

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{23 \cdot 10^6}{2469 \cdot 42,75} = 215,55 \text{ м}^2.$$