

### 3 ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПАРОВОДОЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

**Задание.** Произвести конструктивный тепловой расчёт четырёхходового вертикального пароводяного подогревателя при следующих заданных условиях: производительность аппарата  $Q = 22 \cdot 10^6$ , Вт; параметры греющего пара: давление  $P = 0,35$ , энтальпия  $h = 2768,1$ , температура насыщенного пара  $t_H = 138,88^\circ\text{C}$ ; 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 стальных 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:

$$D = \frac{Q}{(h - h_H)} = \frac{22 \cdot 10^6}{(2768,1 - 584,5)} = 10,1 \text{ кг/с.} \quad (42)$$

И объёмный расход воды:

$$V = \frac{Q}{c_p \cdot (t''_2 - t'_2) \cdot \rho} = \frac{22 \cdot 10^6}{4,209 \cdot 10^3 \cdot (117 - 65) \cdot 1000} = 0,1 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (43)$$

Средняя логарифмическая разность температур теплоносителей в подогревателе:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{(138,88 - 65) - (155 - 117)}{\ln \frac{(138,88 - 65)}{(155 - 117)}} = 54^\circ\text{C}, \quad (44)$$

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.

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

$$\alpha_{II} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11744}{4^{0,25} \cdot 27^{0,25}} = 4859, \quad (45)$$

где  $B = 5700 + 56 \cdot t_H - 0,09 \cdot t_H^2 = 5700 + 56 \cdot 138,88 - 0,09 \cdot 138,88^2 = 11744$ ,

$\Delta t = t_H - t_{CT} = 138,88 - 111,9 = 27^\circ\text{C}$ ,

$t_{CT} = 0,5 \cdot ((t_H - \Delta t_{CP}) + t_H) = 0,5 \cdot ((138,88 - 54) + 138,88) = 111,9^\circ\text{C}$ .

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:

$$\Delta t_2 = \frac{q_2}{22500} = \frac{10000}{22500} = 0,44^\circ\text{C}.$$

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

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

$$\Delta t_3 = \frac{10000}{10000} = 1^\circ\text{C}.$$

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:

$$\alpha_4 = \alpha_{\text{В}} = A_5 \cdot \frac{\omega_T^{0,8}}{d_{\text{В}}^{0,2}} = 3025 \cdot \frac{1,5^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 9061. \quad (48)$$

Имеем теплозависимость вида:

$$q_4 = \alpha_4 \cdot \Delta t_4 = 9061 \cdot \Delta t_4;$$

$$\Delta t_4 = \frac{10000}{9061} = 1,1^\circ\text{C}.$$

Складывая ординаты четырёх зависимостей, строим суммарную теплозависимость:

$$\sum \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 = 2,1 + 0,4 + 1 + 1,1 = 4,6^\circ\text{C}.$$

Рассчитываем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{СР}}} = \frac{10000}{4,6} = 2171 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (49)$$

Площадь поверхности нагрева теплообменника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{СР}}} = \frac{22 \cdot 10^6}{2171 \cdot 54} = 188 \text{ м}^2. \quad (50)$$

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:

$$\omega = \frac{4 \cdot V \cdot z}{n \cdot \pi \cdot d_{\text{В}}^2} = \frac{4 \cdot 0,1 \cdot 4}{666 \cdot 3,14 \cdot 0,021^2} = 1,7 \text{ м/с}. \quad (51)$$

Уточняем коэффициент теплоотдачи при движении воды в трубках:

$$\alpha_{\text{П}} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11744}{4^{0,25} \cdot 2,1^{0,25}} = 9247 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Уточняем коэффициент теплоотдачи пара:

$$\alpha_B = 3025 \cdot \frac{1,7^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 10222 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Уточняем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\Pi}} + \frac{\delta}{\lambda_{CT}} + \frac{\delta_H}{\lambda_H} + \frac{1}{\alpha_B}} = \frac{1}{\frac{1}{9247} + \frac{0,002}{45} + \frac{0,0002}{2} + \frac{1}{10222}} = 2854 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (52)$$

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

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{CP}} = \frac{22 \cdot 10^6}{2854 \cdot 54} = 143 \text{ м}^2.$$



ПРИЛОЖЕНИЕ

