

3 ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПАРОВОДЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Задание. Произвести конструктивный тепловой расчёт четырёхходового вертикального пароводяного подогревателя при следующих заданных условиях: производительность аппарата $Q = 17 \cdot 10^6$, Вт; параметры греющего пара: давление $P = 0,28$, энтальпия $h = 2758,5$, температура насыщенного пара $t_H = 131,20^\circ\text{C}$; 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 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:

$$D = \frac{Q}{(h-h_H)} = \frac{17 \cdot 10^6}{(2758,5-551,4) \cdot 10^3} = 7,7 \text{ кг/с.} \quad (42)$$

И объёмный расход воды:

$$V = \frac{Q}{c_p \cdot (t''_2 - t'_2) \cdot \rho} = \frac{17 \cdot 10^6}{4,21 \cdot 10^3 \cdot (115-63) \cdot 1000} = 0,08 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (43)$$

Средняя логарифмическая разность температур теплоносителей в подогревателе:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{(131,20-63) - (131,20-115)}{\ln \frac{(131,20-63)}{(131,20-115)}} = 43^\circ\text{C}, \quad (44)$$

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 тепловую зависимость между удельным тепловым напряжением и перепадом температур на данном участке:

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

$$\alpha_{\Pi} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11500}{4^{0,25} \cdot 21,5^{0,25}} = 5035, \quad (45)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где $B = 5700 + 56 \cdot t_n - 0,09 \cdot t_n^2 = 5700 + 56 \cdot 131,20 - 0,09 \cdot 131,20^2 = 11500$,
 $\Delta t = t_n - t_{CT} = 131,20 - 109,7 = 21,5^\circ\text{C}$,
 $t_{CT} = 0,5 \cdot ((t_n - \Delta t_{CP}) + t_n) = 0,5 \cdot ((131,20 - 43) + 131,20) = 109,7^\circ\text{C}$.

Обозначим $\alpha_1 = \alpha_{\Pi}$. Имеем теплозависимость вида $q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1$. Задаваясь рядом значений Δt_1 , вычисляем соответствующие им величины q_1 . Строим (на миллиметровке) зависимость $\Delta t_1 = f(q_1)$.

$$\Delta t_1 = \frac{q_1}{\alpha_1} = \frac{5000}{5035} = 0,99^\circ\text{C}.$$

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

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

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:

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

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

Г) теплоотдача от стенки воде.

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

$$\alpha_4 = \alpha_B = A_5 \cdot \frac{\omega_T^{0,8}}{d_B^{0,2}} = 2880 \cdot \frac{1,3^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 7693. \quad (48)$$

Имеем теплозависимость вида:

$$q_4 = \alpha_4 \cdot \Delta t_4 = 7693 \cdot \Delta t_4;$$

$$\Delta t_4 = \frac{5000}{7693} = 0,65^\circ\text{C}.$$

Складывая ординаты четырёх зависимостей, строим суммарную теплозависимость:

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Sigma \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 = 0,99 + 0,2 + 0,5 + 0,65 = 2,37 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Рассчитываем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{CP}}} = \frac{5000}{2,37} = 2114. \quad (49)$$

Площадь поверхности нагрева теплообменника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{17 \cdot 10^6}{2114 \cdot 43} = 186,8 \text{ м}^2. \quad (50)$$

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:

$$\omega = \frac{4 \cdot V \cdot z}{n \cdot \pi \cdot d_B^2} = \frac{4 \cdot 0,08 \cdot 4}{666 \cdot 3,14 \cdot 0,021^2} = 1,35 \text{ м/с}. \quad (51)$$

Уточняем коэффициент теплоотдачи при движении воды в трубках:

$$\alpha_{\text{П}} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11500}{4^{0,25} \cdot 0,99^{0,25}} = 10860 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Уточняем коэффициент теплоотдачи пара:

$$\alpha_{\text{В}} = 2880 \cdot \frac{1,35^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 7916 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Уточняем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{П}}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{\delta_{\text{Н}}}{\lambda_{\text{Н}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{В}}}} = \frac{1}{\frac{1}{10860} + \frac{0,002}{45} + \frac{0,0002}{2} + \frac{1}{7916}} = 2756. \quad (52)$$

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

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{17 \cdot 10^6}{2756 \cdot 43} = 143,2 \text{ м}^2.$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение А ТЕПЛОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА

