

3 ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПАРОВОДОЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Задание. Произвести конструктивный тепловой расчёт четырёхходового вертикального пароводяного подогревателя при следующих заданных условиях: производительность аппарата $Q = 21 \cdot 10^6$, Вт; параметры греющего пара: давление $P = 0,2$, энтальпия $h = 2748,3$, температура насыщенного пара $t_n = 120,23^\circ\text{C}$; 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 $d_b/d_n = 21/25$ мм. Вода проходит по трубам, а пар поступает в межтрубное пространство. Высота трубок в одном ходе $H = 4$ м. Толщина накипи $\delta_n = 0,0002$ м, $\lambda_n = 2$ Вт/(м · К).

Расчёт

Определяем расход пара:

$$D = \frac{Q}{(h-h_u)} = \frac{21 \cdot 10^6}{(2748,3 - 504,8)} = 9,4 \text{ кг/с.} \quad (42)$$

И объёмный расход воды:

$$V = \frac{Q}{C_n \cdot (t_n'' - t_n') \cdot \rho} = \frac{21 \cdot 10^6}{4,209 \cdot 10^3 \cdot (117 - 65) \cdot 1000} = 0,096 \text{ m}^3/\text{c}. \quad (43)$$

Средняя логарифмическая разность температур теплоносителей в подогревателе:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{(120,23 - 65) - (140 - 117)}{\ln \frac{(120,23 - 65)}{(140 - 117)}} = 36,8^{\circ}\text{C}, \quad (44)$$

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:

$$\alpha_{\Pi} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \lambda_{t,0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11130}{4^{0,25} \cdot 184^{0,25}} = 5071, \quad (45)$$

где $B = 5700 + 56 \cdot t_{\text{н}} - 0,09 \cdot t_{\text{н}}^2 = 5700 + 56 \cdot 120,23 - 0,09 \cdot 120,23^2 = 11130$.

$$\Delta t = t_{\text{H}} - t_{\text{CT}} = 120,23 - 101,8 = 18,4^{\circ}\text{C},$$

$$t_{CT} = 0,5 \cdot ((t_H - \Delta t_{CP}) + t_H) = 0,5 \cdot ((120,23 - 36,8) + 120,23) = 101,8^\circ\text{C}.$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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:

$$\alpha_4 = \alpha_{\text{В}} = A_5 \cdot \frac{\omega_T^{0,8}}{d_B^{0,2}} = 3025 \cdot \frac{1,7^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 10011. \quad (48)$$

Имеем теплозависимость вида:

$$q_4 = \alpha_4 \cdot \Delta t_4 = 10011 \cdot \Delta t_4;$$

$$\Delta t_4 = \frac{5000}{10011} = 0,49^\circ\text{C}.$$

Складывая ординаты четырёх зависимостей, строим суммарную теплозависимость:

$$\sum \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 = 0,99 + 0,2 + 0,5 + 0,49 = 2,2^\circ\text{C}.$$

Рассчитываем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{CP}}} = \frac{5000}{2,2} = 4533 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (49)$$

Площадь поверхности нагрева теплообменника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{21 \cdot 10^6}{4533 \cdot 36,8} = 126 \text{ м}^2. \quad (50)$$

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:

$$\omega = \frac{4 \cdot V \cdot z}{n \cdot \pi \cdot d_{\text{В}}^2} = \frac{4 \cdot 0,096 \cdot 4}{666 \cdot 3,14 \cdot 0,021^2} = 1,66 \text{ м/с}. \quad (51)$$

Уточняем коэффициент теплоотдачи при движении воды в трубках:

$$\alpha_{\text{П}} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11130}{4^{0,25} \cdot 0,99^{0,25}} = 10543 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Уточняем коэффициент теплоотдачи пара:

$$\alpha_B = 3025 \cdot \frac{1,66^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 9848 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Уточняем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\Pi}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{\delta_{\text{Н}}}{\lambda_{\text{Н}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{В}}}} = \frac{1}{\frac{1}{10543} + \frac{0,002}{45} + \frac{0,0002}{2} + \frac{1}{9848}} = 2933 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (52)$$

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

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{21 \cdot 10^6}{3253 \cdot 36,8} = 195 \text{ м}^2.$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ

