

### 3. ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЁТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПАРОВОДЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

**Задание.** Произвести конструктивный тепловой расчёт четырёхходового вертикального пароводяного подогревателя при следующих заданных условиях: производительность аппарата  $Q = 19 \cdot 10^6$ , Вт; параметры греющего пара: давление  $P = 0,24$ , энтальпия  $h = 2734,1$ , температура насыщенного пара  $t_H = 126,1^\circ\text{C}$ ; 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:

$$D = \frac{Q}{(h - h_H)} = \frac{19 \cdot 10^6}{(2734,1 - 529,8)} = 8,62 \text{ кг/с. (42)}$$

И объёмный расход воды:

$$V = \frac{Q}{c_p \cdot (t''_2 - t'_2) \cdot \rho} = \frac{19 \cdot 10^6}{4,209 \cdot 10^3 \cdot (117 - 65) \cdot 1000} = 0,087 \text{ м}^3/\text{с. (43)}$$

Средняя логарифмическая разность температур теплоносителей в подогревателе:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{(126,1 - 65) - (135 - 117)}{\ln \frac{(126,1 - 65)}{(125 - 117)}} = 33,21^\circ\text{C, (44)}$$

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:

$$\alpha_{II} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11130}{4^{0,25} \cdot 16,6^{0,25}} = 5202, (45)$$

где  $B = 5700 + 56 \cdot t_H - 0,09 \cdot t_H^2 = 5700 + 56 \cdot 126,1 - 0,09 \cdot 126,1^2 = 11130$ ,

$\Delta t = t_H - t_{CT} = 126,1 - 103,63 = 16,6^\circ\text{C}$ ,

$t_{CT} = 0,5 \cdot ((t_H - \Delta t_{CP}) + t_H) = 0,5 \cdot ((126,1 - 33,21) + 126,1) = 103,63^\circ\text{C}$ .

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. 21.22.50		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Бутько В.В.				Тепловой конструктивный расчёт вертикального пароводяного подогревателя	Лит.	Лист
Провер.	Никулина Т.Н.						Листов
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О. Сухого Гр. ЗНР-31	
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:

$$\alpha_4 = \alpha_B = A_5 \cdot \frac{\omega_T^{0,8}}{d_B^{0,2}} = 3025 \cdot \frac{1,1^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 7070. (48)$$

Имеем теплозависимость вида:

$$q_4 = \alpha_4 \cdot \Delta t_4 = 7070 \cdot \Delta t_4;$$

$$\Delta t_4 = \frac{5000}{7070} = 0,7^\circ\text{C}.$$

Складывая ординаты четырёх зависимостей, строим суммарную теплозависимость:

$$\sum \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 = 0,96 + 0,2 + 0,5 + 0,7 = 2,4^\circ\text{C}.$$

Рассчитываем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{CP}}} = \frac{5000}{2,4} = 2091 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). (49)$$

Площадь поверхности нагрева теплообменника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{19 \cdot 10^6}{2091 \cdot 33,21} = 274 \text{ м}^2. (50)$$

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:

$$\omega = \frac{4 \cdot V \cdot z}{n \cdot \pi \cdot d_B^2} = \frac{4 \cdot 0,087 \cdot 4}{986 \cdot 3,14 \cdot 0,021^2} = 1,02 \text{ м/с}. (51)$$

Уточняем коэффициент теплоотдачи при движении воды в трубках:

$$\alpha_{\Pi} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}} = 1,334 \cdot \frac{11130}{4^{0,25} \cdot 0,96^{0,25}} = 10600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Уточняем коэффициент теплоотдачи пара:

$$\alpha_B = 3025 \cdot \frac{1,02^{0,8}}{0,021^{0,2}} = 6641 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Уточняем коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\Pi}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_B}} = \frac{1}{\frac{1}{10600} + \frac{0,002}{45} + \frac{0,0002}{2} + \frac{1}{6641}} = 2569 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). (52)$$

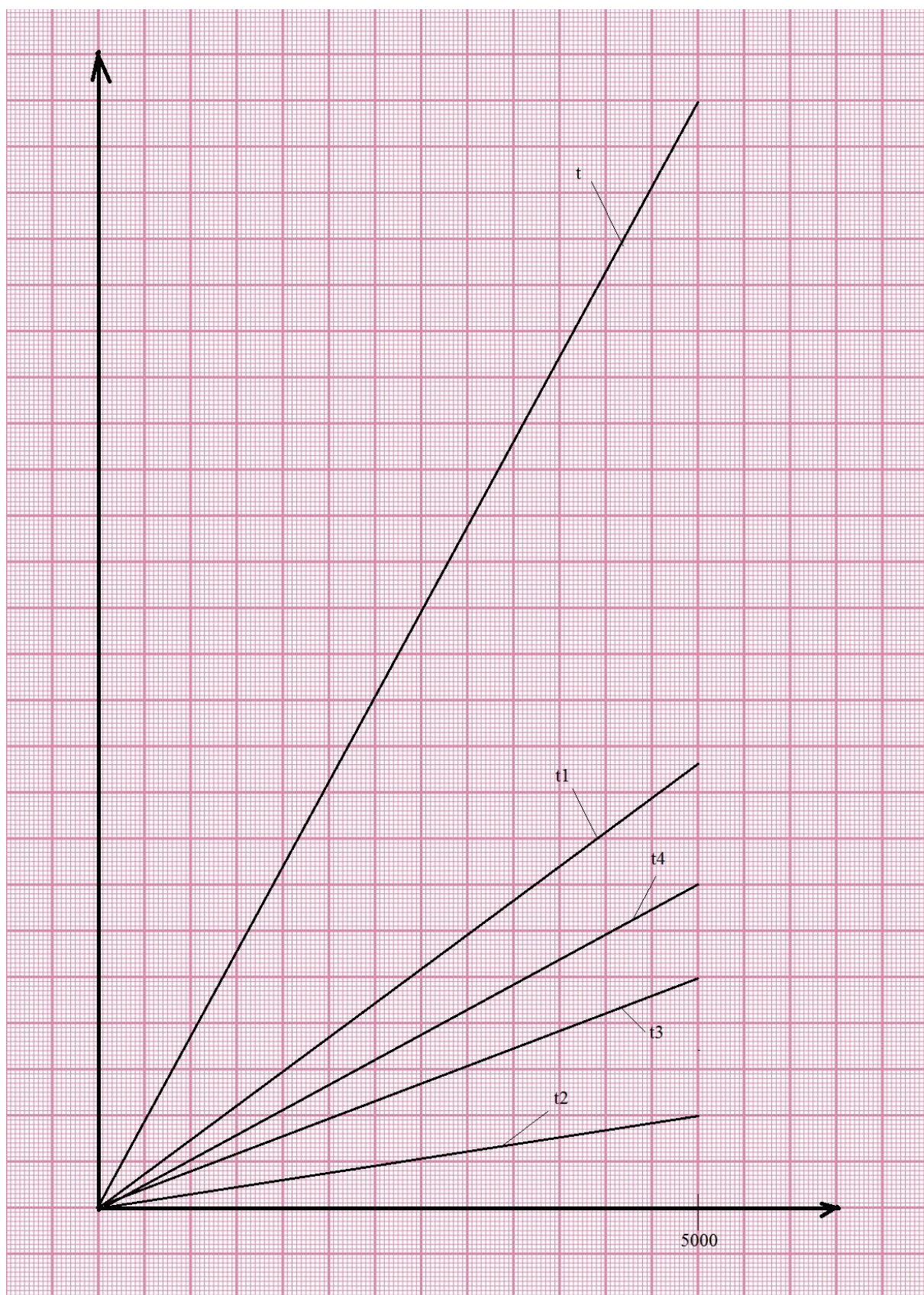
Необходимая площадь поверхности нагрева не должна превышать действительной площади поверхности нагрева выбранного подогревателя.

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{CP}}} = \frac{19 \cdot 10^6}{2569 \cdot 33,21} = 223 \text{ м}^2.$$

					КР 1-51-02-02. 21.22.50	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



# ПРИЛОЖЕНИЕ



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КР 1-51-02-02. 21.22.50

Лист