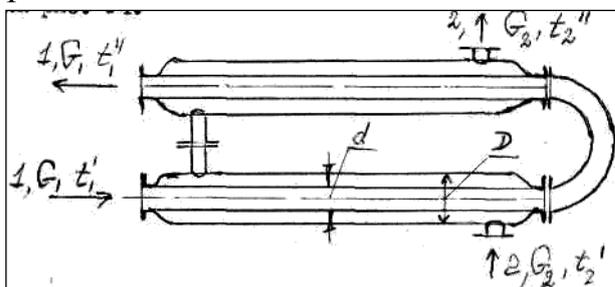


## ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Схема теплообменника, состоящего из двух элементов, представлена на рис.94.



**Рис.94.** Схема элементарного теплообменника.

1- горячая вода, 2- холодная вода,  
 $G$  – массовый расход.

На установке с помощью двух ротаметров измеряются объемные расходы теплоносителей. Термопары и потенциометр измеряют температуры теплоносителей на входе и выходе из аппарата.

### **1. Тепловая нагрузка аппарата.**

Массовые расходы теплоносителей:

$$G_1 = \rho_1 \cdot V_1 \text{ кг/с}; \quad G_2 = \rho_2 \cdot V_2 \text{ кг/с.}$$

Тепловая нагрузка:

$$Q = Q_2 = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_2'' - t_2') \text{ Вт}$$

Тепло, вносимое первым теплоносителем:

$$Q_1 = G_1 \cdot c_1 \cdot (t_1' - t_1'') \text{ Вт}$$

Потери тепла:  $Q_{\text{п}} = Q_1 - Q_2 \text{ Вт}$

### **2. Скорости движения теплоносителей.**

$$W_1 = \frac{4 \cdot V_1}{\pi \cdot d_B^2} \text{ м/с}; \quad W_2 = \frac{4 \cdot V_2}{\pi \cdot (D_B^2 - d_H^2)} \text{ м/с.}$$

### **3. Число Рейнольдса.**

$$Re_1 = \frac{W_1 \cdot d_B \cdot \rho_1}{\mu_1}; \quad Re_2 = \frac{W_2 \cdot D_{\text{э}} \cdot \rho_2}{\mu_2}, \text{ где } D_{\text{э}} = D_B - d_H$$

### **4. Коэффициенты теплоотдачи.**

По числу Рейнольдса определяется режим движения теплоносителя и выбирается соответствующая формула для расчёта критерия Нуссельта:

$$Nu_1 = f_1(Re_1; Pr_1)$$

$$Nu_2 = f_2(Re_2; Pr_2)$$

Из критериев Нуссельта определяются коэффициенты теплоотдачи:

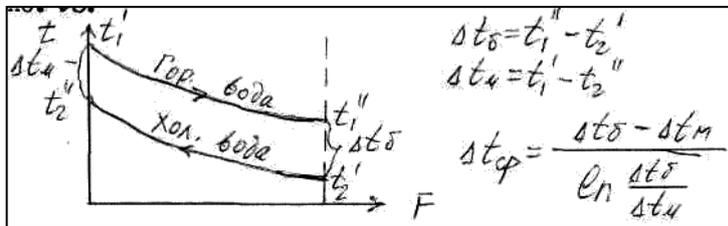
$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_B}; \quad \alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{D_{\text{э}}}$$

### **5. Расчётный коэффициент теплопередачи.**

$$K_{\text{расч}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum R_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} ; \sum R_{\text{ст}} - \text{задано.}$$

**6. Средняя разность температур для противотока.**

Распределение температур теплоносителей для противотока представлено на рис.95.



**Рис.95.** Распределение температур теплоносителей для противотока.

**7. Опытный коэффициент теплопередачи.**

$$K_{\text{оп}} = \frac{Q}{F \cdot \Delta t_{\text{cp}}}, F - \text{задано.}$$

**8. Отклонение опытных и расчётных данных.**

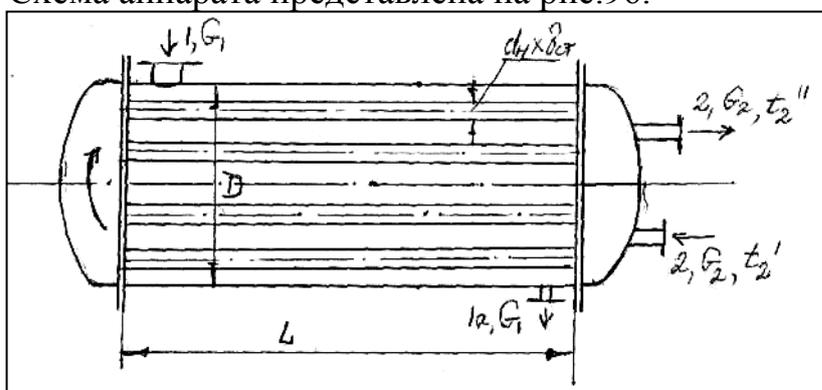
$$\delta = \frac{K_{\text{расч}} - K_{\text{оп}}}{K_{\text{расч}}} \cdot 100\%$$

## КОНДЕНСАТОР (дефлегматор)

**Задание:** рассчитать поверхность теплопередачи и принять теплообменник по каталогу для конденсации под атмосферным давлением 40 т/ч насыщенного пара этанола.

Принимаем горизонтальный теплообменник, т.к. он обеспечивает больший коэффициент теплоотдачи со стороны конденсации.

Схема аппарата представлена на рис.96.



**Рис.96.** Схема горизонтального двухходового конденсатора.

1- пары этанола,  
1а – конденсат этанола, 2-вода.

### Физические свойства теплоносителей.

1. Этанол.

$t_{\text{конд}} = 78.3^{\circ}\text{C}$  - температура конденсации,

$r_1 = 855.2$  кДж/кг – теплота конденсации (парообразования),

$\lambda_1 = 0.166$  Вт/м·К - теплопроводность конденсата,

$\mu_1 = 4.5 \cdot 10^{-4}$  Па·с - вязкость конденсата,

$\rho_1 = 740$  кг/м<sup>3</sup> - плотность конденсата.

2. Вода.

Начальная и конечная температуры воды:  $t_2' = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $t_2'' = 40^{\circ}\text{C}$ .

Плотность, теплопроводность, вязкость, теплоёмкость и критерий Прандтля для воды соответственно:

$\rho_2 = 996$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda_2 = 0.618$  Вт/м·К,  $\mu_2 = 8.04 \cdot 10^{-4}$  Па·с,  
 $c_2 = 4.18$  кДж/кг·К,  $\text{Pr}_2 = 5.42$ .

Внутренний и наружный диаметры трубки:  $d_{\text{в}} = 0.021$  м,  $d_{\text{н}} = 0.025$  м.

Термическое сопротивление стенки и загрязнений:

$$\sum R_{\text{ст}} = R_{31} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + R_{32} = \frac{1}{11600} + \frac{0.002}{46.5} + \frac{1}{5800} = 3 \cdot 10^{-4}$$

По данным расчётов на ЭВМ принимаем число Рейнольдса для воды и ориентировочный коэффициент теплопередачи:

$\text{Re}_2 = 30000$ ,  $K_{\text{ор}} = 1050$  Вт/м<sup>2</sup>·К.

### Расчёты.

1. Тепловая нагрузка аппарата. ( $Q_{\text{п}} = 0, Q = Q_1 = Q_2$ )

$$Q = \frac{G_1 \cdot r_1}{3.6} = \frac{40 \cdot 855.2}{3.6} = 9502.22 \text{ кВт}$$

2. Расход воды.

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 \cdot (t_2'' - t_2')} = \frac{9502.22}{4.18 \cdot (40 - 20)} = 113.66 \text{ кг/с}$$

3. Средняя разность температур.

$$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{конд}} - \frac{t_2'' + t_2'}{2} = 78.3 - \frac{20 + 40}{2} = 48.3^{\circ}$$

4. Величина "А" для конденсации.

$$A = 1.28 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda_1^3 \cdot \rho_1^2 \cdot r_1 \cdot 10^3}{\mu_1 \cdot d_H}} = 1.28 \cdot \sqrt[4]{\frac{0.166^3 \cdot 740^2 \cdot 855.2 \cdot 10^3}{4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 0.025}} = 4754.84$$

5. Коэффициент теплоотдачи со стороны воды.

$$\alpha_2 = 0.021 \cdot \left(\frac{\lambda_2}{d_B}\right) \cdot \text{Re}_2^{0.8} \cdot \text{Pr}_2^{0.43} = 0.021 \cdot \left(\frac{0.618}{0.021}\right) \cdot 30000^{0.8} \cdot 5.42^{0.43} = 4878.71$$

6. Скорость движения воды в трубках.

$$W = \text{Re}_2 \cdot \frac{\mu_2}{d_B \cdot \rho_2} = 30000 \cdot \frac{8.04 \cdot 10^{-4}}{0.021 \cdot 996} = 1.15 \text{ м/с} < 3 \text{ м/с}$$

7. Число труб в одном ходе.

$$n_z = \frac{4 \cdot G_2}{\rho_2 \cdot W \cdot \pi \cdot d_B^2} = \frac{4 \cdot 113.66}{996 \cdot 1.15 \cdot 3.14 \cdot 0.021^2} \approx 287$$

8. Удельная теплоёмкость теплового потока.

$$q_{OP} = K_{OP} \cdot \Delta t_{CP} = 1050 \cdot 48.3 = 50715 \text{ Вт/м}^2$$

9. Разность  $\Delta t_1 = t_{\text{конд}} - t_{\text{ст.1}}$

$$\Delta t_1 = \left(\frac{q_{OP}}{A}\right)^{\frac{1}{0.75}} = \left(\frac{50715}{4754.84}\right)^{\frac{1}{0.75}} = 23.49$$

10. Коэффициент теплоотдачи при конденсации.

$$\alpha_1 = A \cdot \left(\frac{1}{\Delta t_1}\right)^{0.25} = 4754.84 \cdot \left(\frac{1}{23.49}\right)^{0.25} = 2161.29 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

11. Расчётный коэффициент теплопередачи.

$$K_{\text{расч}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum R_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2161.29} + 3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{4878.71}} = 1033.42$$

12. Расчётная удельная плотность теплового потока.

$$q_{\text{расч}} = K_{\text{расч}} \cdot \Delta t_{CP} = 1033.42 \cdot 48.3 = 49914.19 \text{ Вт/м}^2$$

13. Проверка равенства  $q_{OP} \approx q_{\text{расч}}$

$$\delta = \frac{q_{OP} - q_{\text{расч}}}{q_{OP}} \cdot 100\% = \frac{50715 - 49914.19}{50715} \cdot 100\% = 1.58\%$$

Если  $q_{OP} \neq q_{\text{расч}}$ , то принимается другое значение  $q_{OP}$  и проводится пересчёт, начиная с п.8.

14. Расчётная поверхность теплопередачи.

$$F_{\text{РАСЧ}} = \frac{Q \cdot 10^3}{q_{\text{РАСЧ}}} = \frac{9502.22 \cdot 10^3}{49914.19} = 190.37 \text{ м}^2$$

15. По величинам  $F_{\text{РАСЧ}}$  и  $n_z$  аппарат принимается по каталогу:

Теплотехнический справочник. Под общ. ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. В 2-х т. Т.2. Изд. 2-е, перераб.- М.: Энергия, 1976.-896 с.

**с. 539:**

Горизонтальный кожухотрубный теплообменник, двухходовой

$F=199 \text{ м}^2$ ,

$n_z=244$ ,

$L=3.5 \text{ м}$ ,

$D=1000 \text{ мм}$ ,

$d_H \times \delta_{\text{СТ}} = 25 \times 2 \text{ мм}$ .