

Расчет конденсатора

Температура воды на входе: $t_{B1} = 20$

Температура воды на выходе: $t_{B2} = 45$

Массовый расход воды через конденсатор: $G_{m_к} = 88.889 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

Температура конденсации холодильного агента в конденсаторе: $t_{к} = 48$

Среднегеометрический температурный напор:

$$\Theta_m := \frac{(t_{B2} - t_{B1})}{\ln\left(\frac{t_{к} - t_{B1}}{t_{к} - t_{B2}}\right)} = 11.193$$

$t_{B2} = 45$
 $t_{B1} = 20$

Принимаем основные размеры, характеризующие теплопередающую поверхность конденсатора:

Внутренний диаметр: $d_{вн} := 18 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Наружный диаметр: $d_0 := 22 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Средняя температура воды: $t_{в.ср_к} := \frac{(t_{B2} - t_{B1})}{2} = 12.5$

Критериальные уравнения для воды:

Кинематическая вязкость

$$\nu_{в_к} := \left[1.717 - 0.03377 t_{в.ср_к} + 0.000200938 t_{в.ср_к}^2 + \frac{0.00018055}{(t_{в.ср_к} + 273)} \right] \cdot 10^{-6} = 1.326 \times 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Коэффициент теплопроводности

$$\lambda_{в_к} := \left(55.179 + 0.2541 \cdot t_{в.ср_к} - 0.001237 \cdot t_{в.ср_к}^2 + \frac{0.000265}{t_{в.ср_к} + 273} \right) \cdot 10^{-2} = 0.582 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Критерий Прандтля

$$\text{Pr}_{в_к} := 13.0104 - 0.28047 \cdot t_{в.ср_к} + 0.001728 \cdot t_{в.ср_к}^2 + \frac{0.00018056}{t_{в.ср_к} + 273} = 9.775$$

Плотность

$$\rho_{в_к} := 1000.302 - 0.06479 \cdot t_{в.ср_к} - 0.003576 \cdot t_{в.ср_к}^2 + \frac{0.00018059}{(t_{в.ср_к} + 273)} = 998.933$$

Скорость НПТ в трубах $v_{в1} := 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Число труб в одном ходе, округленное до целого числа

$$n_1 := \text{ceil}\left(\frac{4 \cdot G_{m_к}}{\pi \cdot d_{вн}^2 \cdot v_{в1} \cdot \rho_{в_к}}\right) = 175$$

Уточненная скорость воды:

$$v_{B2} := \frac{4 \cdot G_{m_k}}{\pi \cdot d_{BH}^2 \cdot n_1 \cdot \rho_{B_k}} = 1.998$$

Число Рейнольдса

$$Re_{B_k} := \frac{v_{B2} \cdot d_{BH}}{\nu_{B_k}} = 2.712 \times 10^4$$

Критерий Нуссельта

$$Nu_k := 0.021 \cdot (Re_{B_k})^{0.8} \cdot Pr_{B_k}^{0.43} = 197.053$$

Коэффициент теплоотдачи со стороны воды

$$\alpha_{2_k} := Nu_k \cdot \frac{\lambda_{B_k}}{d_{BH}} = 6.367 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Принятое термическое сопротивление стенки и загрязнений $R_{CT} := 2.6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$

Принимаем, что $\Theta'_a = 0,3 \Theta_m$

$$\Theta'_a := 0.3 \cdot \Theta_m$$

$$q' := \frac{(\Theta_m - \Theta'_a)}{\left(\frac{1}{\alpha_{2_k}}\right) + R_{CT}} = 1.879 \times 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Для дальнейшей итерации (см. расчет)

$$q'_w := 7.75 \times 10^3$$

При расположении труб в трубной решетке в вершинах правильных треугольников и по сторонам правильных концентрических шестиугольников параметр m определяется следующим образом:

m - число труб, располагаемых по большой диагонали внешнего шестиугольника

S - горизонтальный шаг труб

k - отношение длины трубы в аппарате к диаметру трубной решетки

$$S_m := 1.3 \cdot d_0 = 0.029$$

$$k := 8$$

$$m := \text{floor} \left(0.75 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_k \cdot 10^3}{q' \cdot S \cdot d_{BH} \cdot k}} \right) = 44$$

Число горизонтальных рядов труб в аппарате $n_B := m = 44$

Свойства фреона при t_k : $t_k = 48$

теплота парообразования $r_\phi := (422.69 - 268.53) \cdot 10^3 = 1.542 \times 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

плотность жидкости $\rho_\phi := 1111.5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

коэффициент теплопроводности жидкости $\lambda_{\phi} := 71.3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

коэффициент динамической вязкости жидкости $\mu_{\phi} := 147 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$

Коэффициент теплоотдачи со стороны рабочего тела, отнесенный к внутренней поверхности оребренной трубы:

β - коэффициент оребрения $\beta := 1$

Θ_a - разность температур конденсации и стенки трубы

ψ_p - коэффициент, учитывающий различные условия конденсации на горизонтальных и вертикальных участках поверхности трубы. Для гладких труб ψ_p

$\psi_p := 1$

$$\left[0.72 \cdot \left[\frac{4 \left(\frac{r_{\phi} \cdot \rho_{\phi}^2 \cdot \lambda_{\phi}^3 \cdot 9.81}{\mu_{\phi} \cdot d_0} \right)}{\sqrt{\quad}} \right] \cdot \left(\frac{n_B}{2} \right)^{-0.167} \cdot \beta \cdot \Theta_a^{-0.25} \cdot \psi_p \right] \cdot \Theta_a - \frac{(\Theta_m - \Theta_a)}{\left(\frac{1}{\alpha_{2_к}} \right) + R_{ст}} \text{ solve, } \Theta_a \rightarrow \begin{pmatrix} 7.961694699182874774 \\ 10.079472456705428497 - 3.9088346 \\ 10.079472456705428497 + 3.9088346 \end{pmatrix}$$

$\Theta_a := 7.961694699182874774$

$$q := \frac{(\Theta_m - \Theta_a)}{\left(\frac{1}{\alpha_{2_к}} \right) + R_{ст}} = 7.747 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Более точно q находим по итерационному выражению:

$x := 1.333$

$$A := \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{2_к}} \right) + R_{ст}} = 2.398 \times 10^3$$

$$B := 0.72 \cdot \left[\frac{4 \left(\frac{r_{\phi} \cdot \rho_{\phi}^2 \cdot \lambda_{\phi}^3 \cdot 9.81}{\mu_{\phi} \cdot d_0} \right)}{\sqrt{\quad}} \right] \cdot \left(\frac{n_B}{2} \right)^{-0.167} \cdot \beta \cdot \psi_p = 1.635 \times 10^3$$

$$q'' := \frac{(x-1) \cdot q^x + \Theta_m \cdot B^x}{x \cdot q^{x-1} + \frac{B^x}{A}} = 7.75 \times 10^3$$

$$\frac{(q'' - q) \cdot 100}{q} = 0.03$$

Подставляем полученное q'' в исходное уравнение q' , пока сходимость не составит 0,1%. Итерация.

Общее число труб в аппарате:

$n := 0.75 \cdot \text{м}^2 + 0.25 = 1.452 \times 10^3$

Число ходов в аппарате по воде: $z := \text{ceil} \left(\frac{n}{n_1} \right) = 9$

Внутренняя поверхность теплообмена:

$$F_{\text{ВН}} := \frac{Q_{\text{к}} \cdot 10^3}{q} = 854.3$$

$$Q_{\text{к}} \cdot 10^3 = 6.619 \times 10^6$$

$$q = 7.747 \times 10^3$$

Длина одной трубы в аппарате:

$$l := \frac{F_{\text{ВН}}}{\pi \cdot n \cdot d_{\text{ВН}}} = 10.403$$

Внутренний диаметр аппарата:

$$D_{\text{ВН}} := m \cdot S = 1.258$$