

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

\_\_\_\_\_ **ИНСТИТУТ ХИМИИ** \_\_\_\_\_

(институт)

\_\_\_\_\_ химическая технология и ресурсосбережение \_\_\_\_\_

(кафедра)

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ №2**

по учебному курсу «Процессы и аппараты в химической технологии и биотехнологии»

Вариант 1 *(при наличии)*

Студент Акимова М.Д.

(И.О. Фамилия)

Группа ХТб-1702а

(И.О. Фамилия)

Преподаватель Орлов Ю.Н.

(И.О. Фамилия)

Тольятти 2020



**Росдистант**

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

## Задача №1

Во сколько раз увеличится термическое сопротивление стенки стального змеевика, свернутого из трубы диаметром  $38 \times 2,5$  мм, если покрыть её слоем эмали толщиной 0,5 мм? Считать стенку плоской. Коэффициент теплопроводности эмали  $1,05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

**Дано:**  $\sigma_c = 2,5 \text{ мм} = 0,0025 \text{ м}$ ,  $\sigma = 0,5 \text{ мм} = 0,0005 \text{ м}$ ,  $\lambda = 1,05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,  $\lambda_c = 45 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

**Найти:** Во сколько раз увеличится термическое сопротивление стенки стального змеевика.

**Решение:**

Термическое сопротивление стального змеевика:

$$R_c = \frac{\sigma_c}{\lambda_c}$$

$\sigma_c$  – толщина стенки трубы  
 $\lambda_c$  – коэффициент теплопроводности стали

Подставляем значения:

$$R_c = \frac{0,0025}{45} = 5,56 \times 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$$

Термическое сопротивление стального змеевика со слоем эмали толщиной 0,5 мм:

$$R = \frac{\sigma_c}{\lambda_c} + \frac{\sigma}{\lambda}$$

Подставляем значения:

$$R = \frac{0,0005}{1,05} + 5,56 \times 10^{-5} = 53,18 \times 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$$

Термическое сопротивление увеличится:

$$\frac{R}{R_c} = \frac{53,18 \times 10^{-5}}{5,56 \times 10^{-5}} \approx 10 \text{ раз}$$

**Ответ :** в 10 раз увеличится термическое сопротивление стенки стального змеевика.

### Задача №2

Колонна для ректификации жидкого воздуха покрыта слоем тепловой изоляции из шлаковой ваты толщиной 250 мм. Температура жидкости внутри колонны  $-190^\circ\text{C}$ , температура воздуха в помещении  $20^\circ\text{C}$ . Какое количество тепла может проникать из окружающего воздуха в колонну через  $1 \text{ м}^2$  поверхности, если пренебречь термическими сопротивлениями со стороны жидкости, окружающего воздуха и металлической стенки колонны?

**Дано:**  $\sigma_1 = 250 \text{ мм}$ ,  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = -190^\circ\text{C}$ ,  $F_{cp} = 1 \text{ м}^2$

**Найти:**  $Q$  (количество тепла)

**Решение:**

Тепловой поток через изоляцию:

$$Q = \frac{\lambda_1}{\sigma_1} \times (t_1 - t_2) \times F_{cp}$$

$\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности шлаковой ваты,  $\lambda_1 = 0,076 \text{ Вт/м К}$ ;

$$Q = \frac{0,076}{0,25} \times (20 - (-190)) \times 1 = 63,84 \text{ Вт}$$

**Ответ:**  $Q = 63,84 \text{ Вт}$

### Задача №3

Вода нагревается в условиях свободного движения. Наружный диаметр горизонтальных греющих труб 76 мм. Определить коэффициент теплоотдачи, если температуру поверхности трубы принять равной 45 °С. Средняя температура воды 25 °С.

**Дано:**  $d=76$  мм,  $t_{ср. воды}=25$  °С,  $t=45$  °С

**Найти:**  $\alpha$ (коэффициент теплоотдачи).

**Решение:**

Коэффициент теплоотдачи при свободном движении жидкости около горизонтальных труб:

$$Nu = 0,5 \times (GrPr)^{0,25} \times \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}}\right)^{0,25}$$

Критерий Грасгоффа (Gr)

$$Gr = \frac{d^3 \times \rho^2 \times \beta \Delta t \times g}{\mu^2}$$

Все значения были взяты из таблиц:

$\rho$  -плотность воды при 25°С,  $\rho=997$  кг/м<sup>3</sup>

$\mu$ - динамическая вязкость воды  $\mu=0,902$  Па·с

$\beta$ - коэффициент объемного расширения воды,  $\beta=2,51 \times 10^{-4} K^{-1}$

$\Delta t=45-25=20$ °С- движущая сила процесса

Критерий Грасгоффа:

$$Gr = \frac{0,076^3 \times 997^2 \times 2,5 \times 10^{-4} \times 20 \times 9,81}{(0,902 \times 10^{-3})^2} = 2,63 \times 10^6$$

Значения взяты из таблиц:

Критерий Прандтля при температуре 25 °С,  $Pr=6,22$

Критерий Прандтля при температуре 45 °С,  $Pr_{ст}=3,93$

$$Nu = 0,5 \times (Gr \times Pr)^{0,25} \times \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}}\right)^{0,25}$$

$$Nu = 0,5 \times (2,63 \times 10^6 \times 6,22)^{0,25} \times \left(\frac{6,22}{3,93}\right)^{0,25} = 35,88$$

Коэффициент теплопроводности для воды при 25°C,  $\lambda_{\tau}=0,608$  Вт/мК (данные взяты из таблицы)

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{Nu \times \lambda_{\tau}}{d} = \frac{35,88 \times 0,608}{0,076} = 287 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

**Ответ:**  $\alpha = 287 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$

Расчет теплообменников:

Техническое задание №4. Акимова М.  
ХТБ-1702а

вариант №1.

### Задачи по конденсации

Дано:

$G_2 = 2,2 \text{ кг/с}$	характеристики конденсации при
$t_1 = 119,6$	$t = 119,6$
$p_1 = 0,2 \text{ МПа}$	$\rho = 943,416 \text{ кг/м}^3$
	$\mu = 9000 \times 10^{-8} \text{ Па}\cdot\text{с}$
	$\lambda = 0,68596 \text{ Вт/м}\cdot\text{с}$
	$\gamma_1 = 2208000 \text{ Дж/кг}$
	$\rho_{г_1} = 1,7344$

Решение:

1) Тепловая нагрузка аппарата:

$$Q = G_2 \cdot c_2 (t_{2к} - t_{2н}) = 2,2 \cdot 3730 \cdot (80 - 20) = 492360 \text{ Вт}$$

2) расход пара

$$G_1 = \frac{Q}{\gamma_1} = \frac{492360}{2208000} = 0,223 \text{ кг/с}$$

3) средняя разность температур.

$$\Delta t_{ср} = \frac{(t_1 - t_{2н}) - (t_1 - t_{2к})}{\ln \frac{t_1 - t_{2н}}{t_1 - t_{2к}}} = \frac{(119,6 - 20) - (119 - 80)}{\ln \frac{99,6}{39}} = 64,67 \text{ град}$$

4. трибунальна поверхність  $k_{op} = 1250 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

$$F_{op} = \frac{Q}{\Delta t_{op} - k_{op}} = \frac{492360}{64,67 \cdot 1250} = 6,091 \text{ м}^2 (6,1)$$

пластинкагої подаєваїаль поверхністю  $5 \text{ м}^2$   
поверхністю талїна  $0,3 \text{ м}^2$ , число талїн 10.

5) скорость згустости 10 каналов, площадь попереч-  
ного сечения  $0,001 \text{ м}^2$   
звизающої диаметр  
канало  $0,001 \text{ м}$ .

$$w_z = \frac{G_z}{\rho_z \left(\frac{N}{2}\right) S} = \frac{2,2}{900 \cdot 10 \cdot 0,001} = 0,22 \text{ м/с}$$

$$Re_z = \frac{w_z \cdot d \cdot \rho_z}{\mu_z} = \frac{0,22 \cdot 0,001 \cdot 900}{0,000534} = 2966$$

коэффициент теплоотдачи к згустости.

$$Nu = a Re^b Pr^c \left(\frac{\rho_m}{\rho_{m2}}\right)^{0,25}$$

$$a_z = \frac{0,458}{0,008} \cdot 0,1 \cdot 2966^{0,73} \cdot 4,35^{0,43} = 3686,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

коэффициент теплоотдачи пара

$$Nu = a Re^{0,7} Pr^{0,4}$$

канал с приведенной длиной  $L = 1,12 \text{ м}$ .

$$Re = 0,223 \cdot \frac{1,12}{0,000238 \cdot 5} = 210$$

$$a_1 = \frac{\lambda_1 \cdot a \cdot (Re_1)^{0,7} \cdot (Pr_1)^{0,4}}{L} = \frac{0,686 \cdot 322 \cdot (210)^{0,7} \cdot (1,33)^{0,4}}{1,12} =$$

$$= 10408,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Толщина пластин 1,0 мм, материал не-  
 ржавящая сталь  $\lambda_{ст} = 17,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$   
 суммарная термическая, сопротивлений стенок  
 пластин и зазоры между со стороны толщиной

$$\frac{1}{\alpha_{\Sigma}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{17,5} + \frac{1}{5800} = 0,000229 \frac{\text{м}\cdot\text{К}}{\text{Вт}}$$

коэффициент теплопередачи.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}} = \frac{1}{\frac{1}{12376,98} + \frac{1}{3686,5} + 0,000229} =$$

$$= \frac{1}{0,0005798} = 1724,73 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

правильность принятого допущения относительно  $\Delta t$

$$\Delta t = \frac{K \Delta t_{ст}}{Q} = \frac{1724,73 \cdot 64,67}{10408,5} = 10,7 > 10.$$

требуемая поверхность теплопередачи

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{ст}} = \frac{492360}{1724,73 \cdot 64,67} = 4,4.$$

теплообменник минимальной поверхностью  
 $F = 5 \text{ м}^2$

масса аппарата = 315 кг  
 запас 14%.

запас.

$$\Delta = \frac{F - F_{\text{расч}}}{F_{\text{расч}}} = \frac{5 - 4,4}{4,4} = 14\%$$

б) гидравлическое сопротивление тонкостенного подпружиненного поршневого цилиндра.  
диаметр поршневого (сопротивляющего) прохода  
штырьков  $d_{ш} = 0,065$

скорость тиглового вентура

$$W_{ш} = \frac{4 \cdot Q_{ш}}{\rho \cdot \pi d_{ш}^2} = \frac{4 \cdot 2,2}{900 \cdot 3,14 \cdot 0,065^2} = \frac{8,8}{11,94} = 0,74 \text{ м/с.}$$

$W_{ш} < 2,5 \text{ м/с}$  поэтому гидравлическое сопротивление можно не учитывать.

коэффициент трения.

$$\xi = \frac{Q_{ш}}{\sqrt[4]{\rho \cdot Q_{ш}^3}} = \frac{19,3}{\sqrt[4]{2966}} = 2,6.$$

Для одноканальной компоновки  $\lambda = 1$ .

гидравлическое сопротивление

$$\Delta p = 1 \cdot 2,6 \cdot \frac{1,12}{0,008} \cdot \frac{900 \cdot 0,22^4}{2} = 7928 \text{ Па.}$$

Задачи конденсатора Вариант 1 Шимово. М.  
ХТБ-17022

Дано:

$$G_1 = 1,0 \text{ кг/с}$$

$$t_{2н} = 24^\circ$$

Тренили температуру воды на выходе из конденсатора  $t_{1к} = 33^\circ$  при средней температуре

$$t_2 = 0,5(24 + 33) = 28,5^\circ$$

физико-химические характеристики при  $t = 28,5$

$$\rho_2 = 996 \text{ кг/м}^3$$

$$c_2 = 4175 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$$

$$\mu_2 = 0,608 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$$

$$\gamma_2 = 0,00083 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

$$Pr_2 = 5,69$$

1) тепловая нагрузка аппарата

$$Q = m \cdot G_1 = 1180000 \cdot 1 = 1180000 \text{ Вт}$$

2) расход воды

$$G_2 = \frac{Q}{c_2(t_{2к} - t_{2н})} = \frac{1180000}{4175(33 - 24)} = 31,4 \text{ кг/с}$$

3) средняя разность температур

$$\Delta t_{ср} = \frac{(t_1 - t_{2н}) - (t_1 - t_{2к})}{\ln \frac{(t_1 - t_{2к})}{(t_1 - t_{2н})}} = \frac{(66 - 24) - (66 - 33)}{\ln \frac{42}{33}} = 37,5 \text{ град}$$

4)  $k_{op} = 600 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

$$F_{op} = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{op}} = \frac{1180000}{600 \cdot 37,5} = 52,4 \text{ м}^2$$

$Re_2 = 15000$  ;  $d_{вн} = 25 \times 2 \text{ мм}$

$$\frac{n}{z} = \frac{4 \cdot Q_2}{\pi d \mu_2 Re_2} = \frac{4 \cdot 31,4}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 0,00083 \cdot 15000} = 153,2$$

5) уточненная расчетная поверхность теплообмена.

$D = 600 \text{ мм}$ , диаметр трубы  $25 \times 2 \text{ мм}$ ; число ходов  $z = 2$ , число труб  $n = 240$

$$\frac{n}{z} = \frac{240}{2} = 120$$

$\rightarrow$  длина труб  $3,0 \text{ м}$   $L = 3,0 \text{ м}$ ,  $F = 57,0 \text{ м}^2$

$$Re_2 = \frac{4Gz}{\pi d \mu_2} = \frac{4 \cdot 31,4 \cdot 2}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 240 \cdot 0,00083} = 19323$$

6) коэффициент теплообмена к воде.

$$\alpha_2 = \frac{0,608}{0,021} \cdot 0,023 \cdot (19323)^{0,8} \cdot (5,69)^{0,4} = 3575 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

7) коэффициент теплообмена от пара

$$\alpha_1 = 3,78 \text{ К}^3 \sqrt{\frac{\rho^2 d_{вн} n}{\mu_1 \alpha_1}} = 3,78 \cdot 0,219 \sqrt{\frac{757^2 \cdot 0,02 \cdot 240}{0,000446 \cdot 1}} = 1518 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

8) сумма теоретических сопротивлений стенки труб из нержавеющей стали и загрязнений стороны воды и пара

$$\frac{1}{K} = \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст.м.к.}} + \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{1}{\alpha_{г}} = \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{1860} + \frac{1}{11600}$$

$$= 0,000738 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$$

9) коэффициент теплопередачи.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}} = \frac{1}{\frac{1}{1518} + \frac{1}{3575} + 0,000738} = \frac{588 \text{ Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

10) требуемая поверхность теплопередачи.

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{ср}} = \frac{1480000}{588 \cdot 37,5} = 53,5 \text{ м}^2$$

конденсатор с длиной труб 2 м и поверхностью 57 м<sup>2</sup> подходит с запасом!

$$\Delta = \frac{57,0 - 53,5}{53,5} = 6,5\%$$

11) гидравлическое сопротивление  $\Delta P_L$   
скорость воды в трубах

$$W_L = \frac{4 Q_{в.з}}{\pi d^2 n \rho_L} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 2}{3,14 \cdot 0,02^2 \cdot 140 \cdot 996} = 0,76 \text{ м/с}$$

12) коэффициент трения

$$\lambda = 0,25 \left\{ \lg \left[ \frac{c}{3,7} + \left( \frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2}$$

$$= 0,25 \left\{ \lg \left[ \frac{0,002}{0,02 \cdot 3,7} + \left( \frac{6,81}{19323} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} = 0,1$$

13) скорость воды в штуцерах

$$W_{шт.ц} = \frac{4 Q_{в.з}}{\pi d_{шт.ц}^2} = \frac{4 \cdot 3,14}{3,14 \cdot 0,02^2 \cdot 996} = 1 \text{ м/с}$$

14) Изгибательное сопротивление

$$\Delta p_2 = \lambda \cdot \frac{L_2}{d} \cdot \frac{W_2^2 \rho_2}{2} + [2,5(2-1) + 1,2] \frac{\rho_2 W_2^2}{2} + \frac{3 \rho_2 W_2^2}{2} = 0,1 \cdot \frac{3 \cdot 2}{0,021} \cdot \frac{996 \cdot 0,76^2}{2} + [2,5(2-1) + 1,2] \frac{996 \cdot 0,76^2}{2} + \frac{3 \cdot 996 \cdot 0,76^2}{2} = 11580,1 \text{ Па.}$$

