

Основные параметры состояния рабочего тела.

Определить абсолютное давление газа в сосуде, если показание ртутного манометра равно 375 мм рт. ст., а показание барометра 750 мм рт. ст. Оба прибора находятся при температуре 0°C. Давление выразить в барах.

Решение

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{изб}} + P_{\text{атм}} = 1,5 \text{ бар}$$

Определить плотность и удельный объем окиси углерода (CO) при давлении 1 бар и температуре 300К

Удельный объем можно определить из уравнения Клайперона

$$v = \frac{RT}{P} = \frac{297,4 \cdot 300}{1 \cdot 10^5} = 0,89 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Плотность окиси углерода

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0,89} = 1,125 \text{ кг/м}^3$$

Водяной пар

Влажный насыщенный пар с начальным давлением $P_1=1,4$ бар и степенью сухости $X=0,95$ совершает процесс при $t=\text{const}$ до давления $P_2=0,5$ бар. С помощью i - S -диаграммы определить все параметры вначале и в конце процесса, изменение внутренней энергии, количество подводимой или отводимой теплоты и совершаемую работу.

Решение

На i - S -диаграмме в области влажного насыщенного пара на линии с постоянной степенью сухости $X=0,95$ находим точку пересечения с изобарой $P_1=1,4$ бар (это начальное состояние пара). Для начальной точки находим все параметры с помощью i - S -диаграммы

$$i_1 = 2578 \text{ кДж/кг}; S_1 = 6,95 \text{ кДж/(кг*гр.)}; P_1 = 1,4 \text{ бар}; t_1 = 110^\circ\text{C}; v_1 = 1,17 \text{ м}^3/\text{кг}; X_1 = 0,95$$

При определении температуры пользуемся правилом (в области влажного насыщенного пара изотермы совпадают с изобарами). По условию

задачи пар из начального состояния совершает процесс расширения при постоянной температуре $t_1=t_2=110^{\circ}\text{C}$ до давления $P_2=0,5$ бар На iS -диаграмме находим точку пересечения изотермы $t_1=t_2=110^{\circ}\text{C}$ с изобарой $P_2=0,5$ бар точка находится в области перегретого пара (конечное состояние пара).

$$i_2=2700 \text{ кДж/кг}; S_2=7,75 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{гр.)}; P_2=0,5 \text{ бар}; t_2=110^{\circ}\text{C}; v_2=3,5 \text{ м}^3\text{/кг};$$

По формулам определяем:

Количество подводимой или отводимой теплоты

$$q = T \cdot (S_2 - S_1) = 383,15 \cdot (7,75 - 6,95) = 306,5 \text{ кДж/кг}$$

В формуле температура в градусах Кельвина

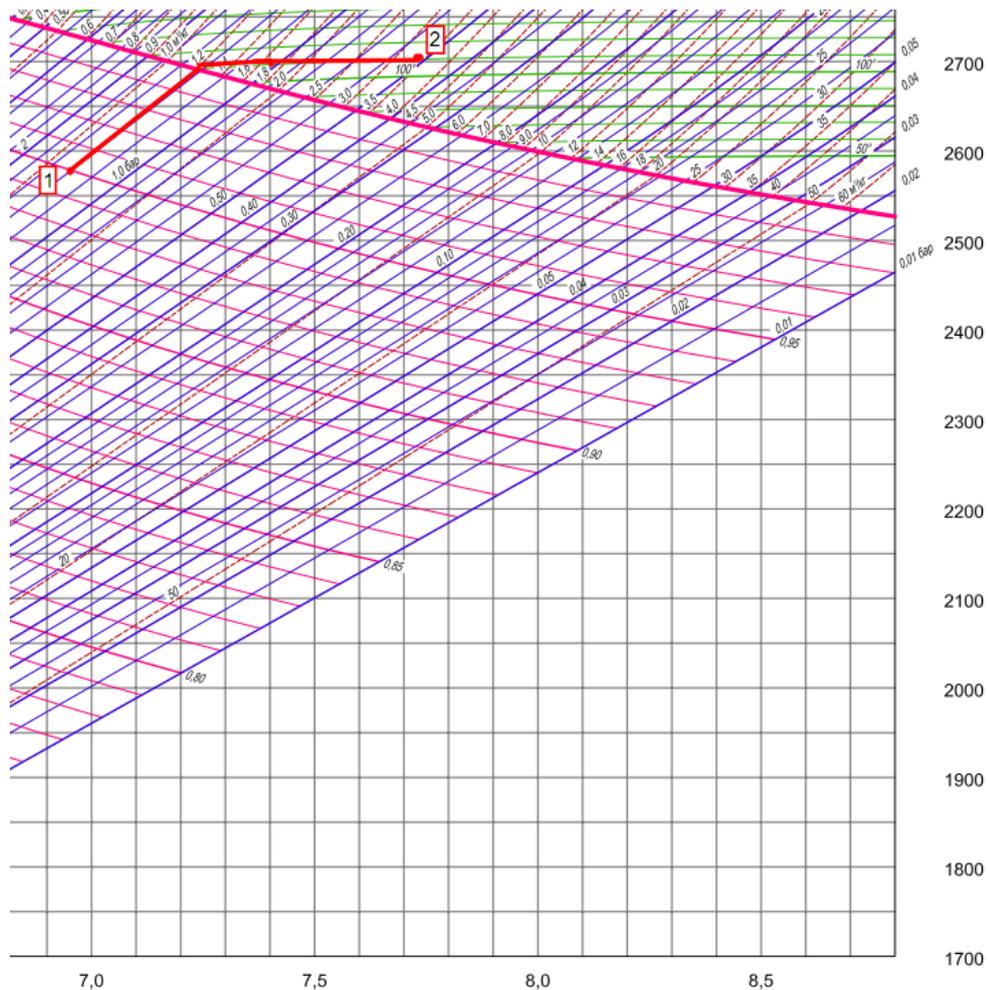
Изменение внутренней энергии

$$\Delta u = (i_2 - P_1 \cdot v_1) - (i_1 - P_1 \cdot v_1) = (2700 - 50 \cdot 3,5) - (2578 - 140 \cdot 1,17) \\ = 185 \text{ кДж/кг}$$

В формуле давление необходимо подставлять в кПа

Совершаемая работа в процессе расширения по I-му закону термодинамики

$$q = \Delta u + l, \text{ кДж/кг}, l = q - \Delta u = 306,5 - 185 = 121,5 \text{ кДж/кг}$$



Влажный воздух

Определить все параметры влажного воздуха, выходящего из камеры смешения центрального кондиционера, если каждую минуту смешивается 150 м^3 воздуха забираемое из помещений с параметрами $t=35^{\circ}\text{C}$ и $\varphi=70\%$ с 50 м^3 наружного воздуха с параметрами $t=5^{\circ}\text{C}$ и $\varphi=60\%$.

Решение

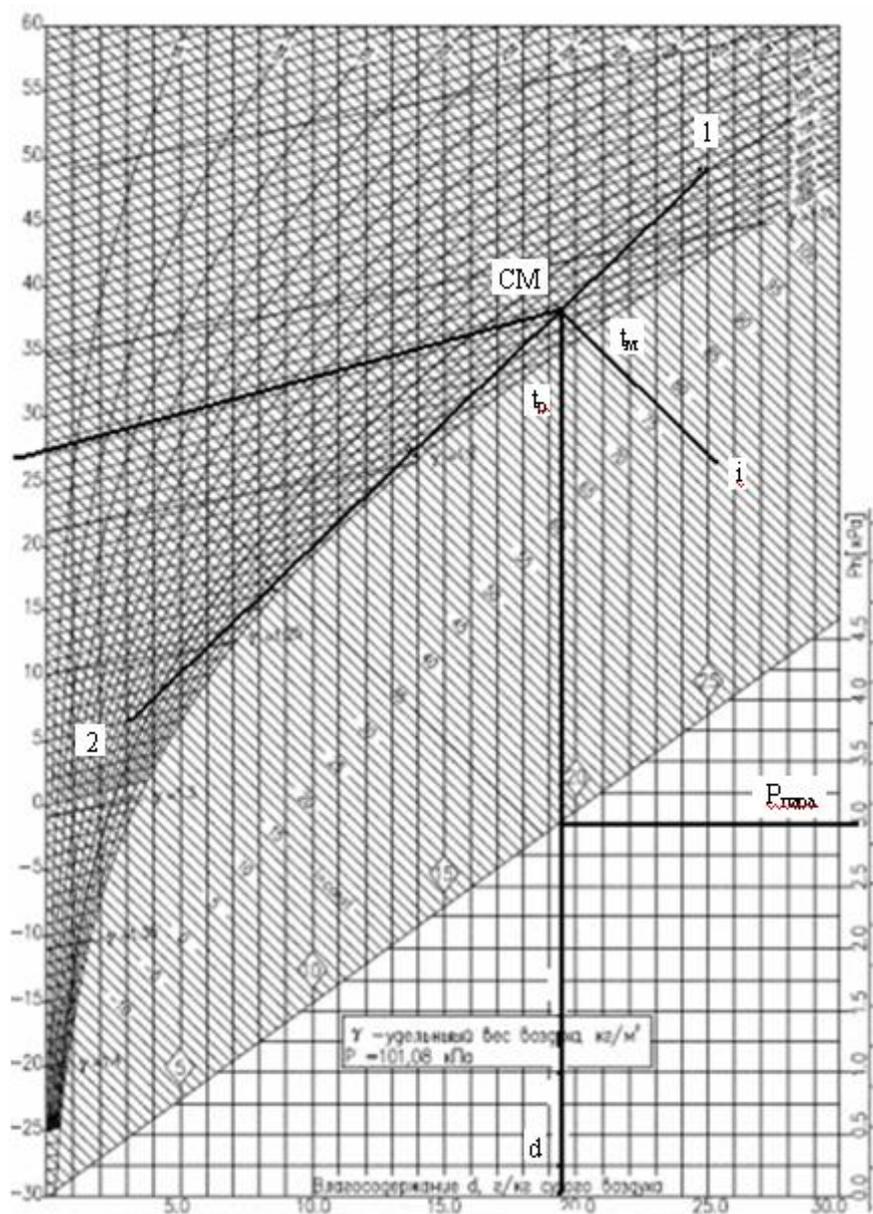
На $i-d$ -диаграмме находим состояние влажного воздуха перед камерой смешения (забираемого из помещения и наружного) Соединяем эти точки, точка смешения (параметры смешанного влажного воздуха будет находиться на линии соединяющая точки с параметрами смешиваемого воздуха). После смешивания 150 м^3 воздуха забираемого из помещения и 25 м^3 наружного воздуха получится 200 м^3 воздуха. 25 м^3 составить $\frac{1}{4}$ полученной смеси. В соответствии с этим отрезок соединяющий точки с параметрами

смешиваемого воздуха необходимо разбить на 4 равных части и точка смеси будет находиться обратнопропорционально частям смешиваемого воздуха.

По $i-d$ диаграмме определяем все параметры смешанного влажного воздуха

$$i_{см} = 77 \text{ кДж/кг}, \quad \rho_{см} = 1,13 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \varphi = 88\% ; \quad t_{см} = 27,5^{\circ}\text{C} ; \quad t_m = 24,5^{\circ}\text{C} ;$$

$$t_p = 23,5^{\circ}\text{C} ; \quad d_{см} = 19,5 \frac{\text{г}}{\text{кг с.в.}} ; \quad P_{H_2O} = 2,9 \text{ кПа} ; \quad P_{с.в.} = 101,08 - 2,9 = 98,18 \text{ кПа}$$



Теплопередача через многослойную плоскую стенку.

От дымовых газов с температурой $t_{\text{г}}$, через плоскую стенку котла передается тепло кипящей воде с температурой $t_{\text{вд}}$. Используя значения коэффициентов теплоотдачи от газов к стенке котла α_1 и от стенки котла к воде α_2 , требуется:

п.1 Определить термические сопротивления, коэффициенты теплопередачи, эквивалентные коэффициенты теплопроводности и удельные тепловые потоки q через 1 м^2 стенки для следующих случаев:

1.1. стенка стальная, совершенно чистая толщиной δ_2 , теплопроводностью λ_2 .

1.2. стенка медная, совершенно чистая, такой же толщины δ_2 , как в п.1.1. теплопроводностью $\lambda'_2 = 300 \text{ Вт/мК}$;

1.3. стенка стальная по п.1.1., но стороны воды покрыта слоем накипи толщиной δ_3 , теплопроводностью λ_3

1.4. стенка стальная по п.1.3., но поверх накипи имеется слой масла толщиной δ_4 , теплопроводностью $\lambda_4 = 0.1 \text{ Вт/мК}$

1.5. стенка стальная по п.1.4., но со стороны газов стенка покрыта слоем сажи толщиной δ_1 , теплопроводностью λ_1

п.2 Приняв количество тепла q , передаваемого по п.1.1. за 100%, подсчитать в процентах значения тепловых потоков для остальных случаев пп.1.2., 1.3., 1.4., 1.5.

п.3 Определить аналитически и графически температуры поверхностей раздела отдельных слоев стенки для п.1.5.

п.4 Построить линию падения температуры в многослойной плоской стенке по п.1.5.

п.5 Сделать выводы по результатам расчетов.

Исходные данные:

$$\begin{aligned} t_{\text{г}} &= 1050 \text{ }^\circ\text{C}; & t_{\text{вд}} &= 115 \text{ }^\circ\text{C}; & \lambda_2 &= 42 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}; \\ \alpha_1 &= 60 \text{ Вт/м}^2\text{К}; & \delta_2 &= 4 \text{ мм}; & \lambda_3 &= 1,8 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}; & \delta_1 &= 0,6 \text{ мм}; \\ \alpha_2 &= 2300 \text{ Вт/м}^2\text{К}; & \lambda_1 &= 0,25 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}; & \delta_3 &= 0,95 \text{ мм}; & \delta_4 &= 0,4 \text{ мм} \end{aligned}$$

Решение

п.1. Определение термических сопротивлений, коэффициентов теплопередачи, эквивалентных коэффициентов теплопроводности и удельных тепловых потоков q через 1 м^2 стенки.

1.1. Стенка стальная, совершенно чистая толщиной δ_2 , теплопроводностью λ_2 .

Полное термическое сопротивление теплопередачи:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{60} + \frac{0,004}{42} + \frac{1}{2300} = 0,0172 \frac{m^2 \cdot K}{Bm}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,0172} = 58,14 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}$$

Плотность теплового потока:

$$q = k(t_2 - t_{\text{сд}}) = 58,14(1050 - 115) \cong 54361 \frac{Bm}{m^2} \cong 54,4 \frac{\kappa Bm}{m^2}$$

Коэффициент теплопроводности стенки:

$$\lambda_2 = 42 \frac{Bm}{m \cdot K}$$

1.2. Стенка медная, совершенно чистая, такой же толщины δ_2 , как в п.1.1. теплопроводностью $\lambda'_2 = 300 Bm/m \cdot K$.

Полное термическое сопротивление теплопередачи:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda'_2} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{60} + \frac{0,004}{300} + \frac{1}{2300} = 0,0171 \frac{m^2 \cdot K}{Bm}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,0171} = 58,48 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}$$

Плотность теплового потока:

$$q = k(t_2 - t_{\text{сд}}) = 58,48(1050 - 115) \cong 54679 \frac{Bm}{m^2} \cong 54,7 \frac{\kappa Bm}{m^2}$$

Коэффициент теплопроводности стенки:

$$\lambda'_2 = 300 \frac{Bm}{m \cdot K}$$

1.3. Стенка стальная по п.1.1., но стороны воды покрыта слоем накипи толщиной δ_3 , теплопроводностью λ_3 .

Полное термическое сопротивление теплопередачи:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{60} + \frac{0,004}{42} + \frac{0,00095}{1,8} + \frac{1}{2300} = 0,0177 \frac{m^2 \cdot K}{Bm}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,0177} = 56,5 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}$$

Плотность теплового потока:

$$q = k(t_2 - t_{\text{сд}}) = 56,5(1050 - 115) \cong 52827 \frac{Bm}{m^2} \cong 52,8 \frac{\kappa Bm}{m^2}$$

Эквивалентный коэффициент теплопроводности многослойной стенки:

$$\lambda_{\text{эк.}} = \sum_{i=1}^n \delta_i / \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} = (\delta_2 + \delta_3) : \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) = (0,004 + 0,00095) : \left(\frac{0,004}{42} + \frac{0,00095}{1,8} \right)$$

1.4. Стенка стальная по п.1.3., но поверх накипи имеется слой масла толщиной δ_4 , теплопроводностью $\lambda_4 = 0,1$ Вт/м·К

Полное термическое сопротивление теплопередачи:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{60} + \frac{0,004}{42} + \frac{0,00095}{1,8} + \frac{0,0004}{0,1} + \frac{1}{2300} = 0,0217 \frac{m^2 \cdot K}{Bm}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,0217} = 46,08 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}$$

Плотность теплового потока:

$$q = k(t_z - t_{\text{сд}}) = 46,08(1050 - 115) \cong 43085 \frac{Bm}{m^2} \cong 43,1 \frac{\kappa Bm}{m^2}$$

Эквивалентный коэффициент теплопроводности многослойной стенки:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{эк.}} &= (\delta_2 + \delta_3 + \delta_4) : \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) = \\ &= (0,004 + 0,00095 + 0,0004) : \left(\frac{0,004}{42} + \frac{0,00095}{1,8} + \frac{0,0004}{0,1} \right) = 67,65 \frac{Bm}{m \cdot K} \end{aligned}$$

1.5. Стенка стальная по п.1.4., но со стороны газов стенка покрыта слоем сажи толщиной δ_1 , теплопроводностью λ_1 .

Полное термическое сопротивление теплопередачи:

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_2} = \\ &= \frac{1}{60} + \frac{0,0006}{0,25} + \frac{0,004}{42} + \frac{0,00095}{1,8} + \frac{0,0004}{0,1} + \frac{1}{2300} = 0,0241 \frac{m^2 \cdot K}{Bm} \end{aligned}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,0241} = 41,49 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}$$

Плотность теплового потока:

$$q = k(t_z - t_{\text{сд}}) = 41,49(1050 - 115) \cong 38800 \frac{Bm}{m^2} \cong 38,8 \frac{\kappa Bm}{m^2}$$

Эквивалентный коэффициент теплопроводности многослойной стенки:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{эк.}} &= (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) : \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) = \\ &= (0,0006 + 0,004 + 0,00095 + 0,0004) : \left(\frac{0,0006}{0,25} + \frac{0,004}{42} + \frac{0,00095}{1,8} + \frac{0,0004}{0,1} \right) = \\ &= 77,71 \frac{Bm}{m \cdot K} \end{aligned}$$

п.2. Подсчет в процентах значения тепловых потоков.

N п.	$q, \frac{\kappa Bm}{m^2}$	%
1.1	54,4	100
1.2	54,7	100
1.3	52,8	97
1.4	43,1	79
1.5	38,8	71

п.3. Определение аналитически и графически температуры поверхностей раздела отдельных слоев стенки для п.1.5.

Аналитический расчет.

Температура наружной поверхности слоя сажи (со стороны газа):

$$t'_{cm} = t_c - \frac{q}{\alpha_1} = 1050 - \frac{38800}{60} = 403^\circ C$$

Температура внутренней поверхности слоя сажи (температура стальной стенки со стороны сажи)

$$t'_{cl} = t'_{cm} - \frac{q \cdot \delta_1}{\lambda_1} = 403 - \frac{38800 \cdot 0,0006}{0,25} = 310^\circ C$$

Температура внутренней поверхности стальной стенки со стороны накипи:

$$t''_{cl} = t'_{cl} - \frac{q \cdot \delta_2}{\lambda_2} = 310 - \frac{3880 \cdot 0,004}{42} = 306^\circ C$$

Температура слоя накипи (со стороны масла):

$$t''_{cl} = t''_{cl} - \frac{q \cdot \delta_3}{\lambda_3} = 306 - \frac{38800 \cdot 0,00095}{1,8} = 285^\circ C$$

Наружная температура слоя масла (со стороны воды):

$$t'''_{cm} = t''_{cl} - \frac{q \cdot \delta_4}{\lambda_4} = 285 - \frac{38800 \cdot 0,0004}{0,1} = 130^\circ C$$

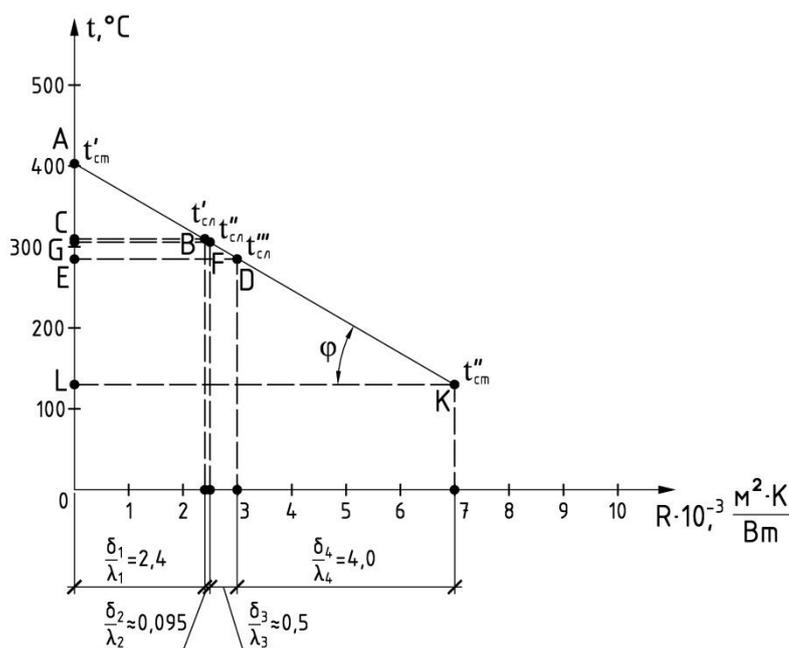
Треугольники ABC и AKL подобны между собой по равенству трёх углов. Из их подобия следует:

$$tg\phi = \frac{AC}{BC} = \frac{AL}{KL}, \text{ или } tg\phi = \frac{t'_{cm} - t'_{cl}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}} = \frac{t'_{cm} - t'''_{cm}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}} = q$$

$$q = tg\phi = \frac{403 - 130}{\frac{0,0006}{0,25} + \frac{0,004}{42} + \frac{0,00095}{1,8} + \frac{0,0004}{0,1}} \cong 38870 \frac{Bm}{m^2}$$

т.е. $AC = t'_{cm} - t'_{cl}$, отсюда

Графическое определение температуры
поверхности раздела отдельных слоев стенки



$$t'_{cl} = t'_{cm} - AC = t'_{cm} - tg\phi \cdot BC = t'_{cm} - tg\phi \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 403 - 38870 \cdot \frac{0,0006}{0,25} = 310^\circ C$$

Аналогично из подобия треугольников *AFG* и *AKL*:

$AG = t'_{cm} - t''_{cl}$, отсюда

$$t''_{cl} = t'_{cm} - AG = t'_{cm} - tg\phi \cdot FG = t'_{cm} - tg\phi \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) =$$

$$= 403 - 38870 \left(\frac{0,0006}{0,25} + \frac{0,004}{42} \right) = 306^\circ C$$

Из подобия треугольников *ADE* и *AKL*:

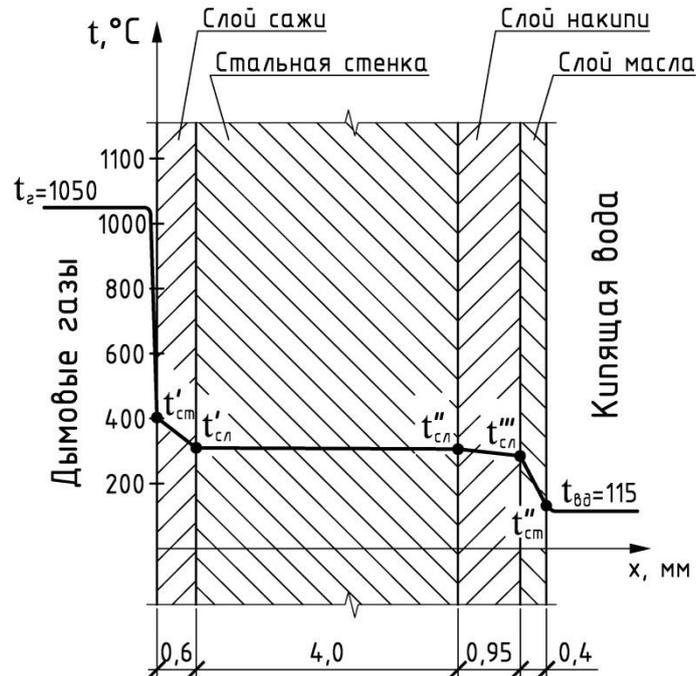
$AE = t'_{cm} - t'''_{cl}$, отсюда

$$t'''_{cl} = t'_{cm} - AE = t'_{cm} - tg\phi \cdot DE = t'_{cm} - tg\phi \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) =$$

$$= 403 - 38870 \left(\frac{0,0006}{0,25} + \frac{0,004}{42} + \frac{0,00095}{1,8} \right) = 285^\circ C$$

п.4. Построение линии падения температуры в многослойной плоской стенке по п.1.5.

Линия падения температур в многослойной плоской стенке



п.5. Выводы.

Рассмотрим передачу теплоты сквозь поверхность нагрева котла, предполагая, что поверхность чистая.

В этом случае $k \cong \alpha$, и влияние сопротивлений $\frac{\delta_2}{\lambda_2}$ и $\frac{1}{\alpha_2}$ ничтожно мало. Теплопередачу определяет наибольшее сопротивление $\frac{1}{\alpha_1}$.

В свете изложенного бессмысленна с точки зрения теплопередачи замена стальных труб медными, хотя теплопроводность меди ($\lambda'_2 = 300 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$) в 7 раз больше, чем у стали ($\lambda_2 = 42 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$). Замена стальных труб медными действительно уменьшит местное сопротивление $\frac{\delta_2}{\lambda_2}$, которое сравнительно с

$\frac{1}{\alpha_1}$ и без того мало и практически на коэффициент теплопередачи не влияет.

Загрязнение стенки существенно уменьшает передачу теплоты сквозь поверхность нагрева. Когда стенка покрыта слоями накипи, сажи, масла

сумма дополнительных местных сопротивлений $\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}$ будет величиной того же порядка, что и $\frac{1}{\alpha_1}$.

В нашей задаче загрязнение стенки накипью, маслом и сажей уменьшило количество передаваемого тепла q на $\sim 29\%$.

Тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата.

Определить поверхность нагрева и число секций водяного теплообменника типа «труба в трубе». Греющая вода движется по внутренней стальной трубе $\lambda = 45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C})$, $\frac{d_2}{d_1} = \frac{35}{32} \text{ мм}$ и имеет температуру $t_1' = 130^\circ \text{C}$, расход теплоносителя $G_1 = 0.6 \text{ кг/с}$. Нагреваемая вода движется противотоком по кольцевому каналу между трубами и нагревается от $t_2' = 20^\circ \text{C}$ до $\Delta t_m = t_1' - t_2' = 82.5 - 20 = 62.5^\circ \text{C}$. Внутренний диаметр внешней трубы $D = 48 \text{ мм}$, расход воды – $G_2 = 0.95 \text{ кг/с}$. Длина одной секции теплообменника $l = 2 \text{ м}$.

Решение:

1) Производительность определим из уравнения теплового баланса:

$$Q = G_1 \cdot c_{p1} \cdot (t_1' - t_1'') = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2'' - t_2'), \text{ кВт}$$

Удельную теплоемкость воды примем равной $4.187 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ \text{C})$. Тогда:

$$Q = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2'' - t_2') = 0.95 \cdot 4.187 \cdot (50 - 20) = 119.3 \text{ кВт}$$

2) Температуру греющей воды на выходе из теплообменника

$$t_1'' = t_1' - \frac{G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2'' - t_2')}{c_{p1} \cdot G_1} = 130 - \frac{0.95 \cdot 4.187 \cdot (50 - 20)}{4.187 \cdot 0.6} =$$

$$= 130 - 47.5 = 82.5^\circ \text{C}.$$

3) Средняя температура греющей воды:

$$t_1 = \frac{t_1'' + t_1'}{2} = \frac{130 + 82.5}{2} = 106.25^\circ \text{C};$$

4) Плотность воды при $t_1 = 106.25^\circ \text{C}$:

$$\rho_1 = 960 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

5) Коэффициент кинематической вязкости греющей воды:

$$\nu_1 = 0.082 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

6) Коэффициент теплопроводности греющей воды:

$$\lambda_1 = 0.709 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C};$$

7) Число Прандтля по температуре греющей воды:

$$Pr_1 = 0.126;$$

8) Средняя температура нагреваемой воды:

$$t_2 = \frac{t_2' + t_2''}{2} = \frac{20 + 50}{2} = 35^\circ C;$$

9) Плотность воды при $t_2 = 35^\circ C$:

$$\rho_2 = 994 \frac{кг}{м^3};$$

10) Коэффициент кинематической вязкости греющей воды:

$$\nu_2 = 0.757 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с};$$

11) Коэффициент теплопроводности греющей воды:

$$\lambda_2 = 0.623 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C};$$

12) Число Прандтля по температуре греющей воды:

$$Pr_2 = 5.07;$$

13) Скорость движения греющей жидкости:

$$W_1 = \frac{4 \cdot G_1}{\rho_1 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{4 \cdot 0.6}{960 \cdot 3.14 \cdot 0.032^2} = 0.778 \frac{м}{с};$$

14) Скорость движения нагреваемой жидкости:

$$W_2 = \frac{4 \cdot G_2}{\rho_2 \cdot \pi \cdot (D^2 - d_2^2)} = \frac{4 \cdot 0.95}{994 \cdot 3.14 \cdot (0.048^2 - 0.035^2)} = 1.128 \frac{м}{с};$$

15) Число Рейнольдса для потока греющей воды:

$$Re_1 = \frac{W_1 \cdot d_1}{\nu_1} = \frac{0.778 \cdot 0.032}{0.082 \cdot 10^{-6}} = 30.36 \cdot 10^4$$

Режим течения турбулентный;

16) Число Нуссельта:

$$Nu_1 = 0.021 \cdot Re_1^{0.8} \cdot Pr_1^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{Cl}} \right)^{0.25};$$

17) Так как температура стенки неизвестна, то в первом приближении задаемся ее значением:

$$t_{Cl} = 0.5 \cdot (t_1 + t_2) = 0.5 \cdot (106.25 + 35) = 70.63^\circ C;$$

18) Число Прандтля по температуре стенки:

$$Pr_{Cl} = 2.6;$$

Число Нуссельта:

$$Nu_1 = 0.021 \cdot (30.36 \cdot 10^4)^{0.8} \cdot 0.126^{0.43} \cdot \left(\frac{0.126}{2.6} \right)^{0.25} = 98.3;$$

19) Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке трубы:

$$\alpha_1 = Nu_1 \cdot \frac{\lambda_1}{d_1} = 98.3 \cdot \frac{0.709}{0.032} = 2178 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C};$$

20) Число Рейнольдса для потока нагреваемой воды:

$$Re_2 = \frac{W_2 \cdot d_3}{\nu_2} = \frac{1.128 \cdot 0.013}{0.757 \cdot 10^{-6}} = 1.94 \cdot 10^4,$$

где $d_3 = D - d_2 = 0.048 - 0.035 = 0.013 м$

Режим течения турбулентный;

21) Принимаем в первом приближении температуру стенки со стороны нагреваемой воды:

$$t_{c2} = t_{c1} = 70.63^\circ C;$$

22) Число Прандтля по температуре стенки:

$$Pr_{c2} = Pr_{c1} = 2.6;$$

23) Число Нуссельта со стороны нагреваемой воды:

$$Nu_2 = 0.017 \cdot Re_2^{0.8} \cdot Pr_2^{0.4} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{c2}} \right)^{0.25} \cdot \left(\frac{D}{d_2} \right)^{0.18} =$$

$$= 0.017 \cdot (1.94 \cdot 10^4)^{0.8} \cdot 5.07^{0.4} \cdot \left(\frac{5.07}{2.6} \right)^{0.25} \cdot \left(\frac{0.048}{0.035} \right)^{0.18} = 118.3;$$

24) Коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой воде:

$$\alpha_2 = Nu_2 \cdot \frac{\lambda_2}{d_3} = 118.3 \cdot \frac{0.623}{0.013} = 5669 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C};$$

25) Т.к. $d_2 / d_1 = 1.09 < 1.8$, то коэффициент теплопередачи, определяемый для плоской стенки, определяется как:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2178} + \frac{0.0015}{45} + \frac{1}{5669}} = 1495 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C};$$

26) Наибольший температурный напор:

$$\Delta t_{\bar{o}} = t_1 - t_2 = 130 - 50 = 80^\circ C;$$

27) Наименьший температурный напор:

$$\Delta t_m = t_1 - t_2 = 82.5 - 20 = 62.5^\circ C;$$

28) Отношение $\frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_m} = 1.28 < 1.8$, то:

$$\Delta t_{CP} = t_1 - t_2 = 106.25 - 35 = 71.25^\circ C;$$

29) Плотность теплового потока:

$$q = K \cdot \Delta t_{CP} = 1495 \cdot 71.25 = 106.5 \frac{кВт}{м^2};$$

30) Площадь поверхности нагрева:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{119.3}{106.5} = 1.12 м^2;$$

31) Число секций:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_1 \cdot l} = \frac{1.12}{3.14 \cdot 0.032 \cdot 2} = 5.57 \approx 6;$$

32) Температура стенки трубы со стороны греющей воды:

$$t_{c1} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 106.25 - \frac{106500}{2178} = 57.35^\circ C;$$

33) При этой температуре:

$$Pr_{c1} = 3.52;$$

34) Уточнённое значение поправки:

$$\left(\frac{Pr_1}{Pr_{c1}} \right)^{0.25} = \left(\frac{0.126}{3.52} \right)^{0.25} = 0.435;$$

$$\text{Было принято } \left(\frac{Pr_1}{Pr_{c1}} \right)^{0.25} = \left(\frac{0.126}{2.6} \right)^{0.25} = 0.469$$

$$\left| 1 - \frac{0.435}{0.469} \right| \cdot 100\% = 7\% > 5\%, \text{ поэтому необходимо провести второе}$$

приближение;

35) Так как температура стенки неизвестна, то в первом приближении задаемся новым значением температуры стенки:

$$t_{c1} = 57.35^\circ C;$$

36) Число Прандтля по температуре стенки:

$$Pr_{c1} = 3.52;$$

Число Нуссельта:

$$Nu_1 = 0.021 \cdot (30.36 \cdot 10^4)^{0.8} \cdot 0.126^{0.43} \cdot \left(\frac{0.126}{3.52} \right)^{0.25} = 91.1;$$

37) Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке трубы:

$$\alpha_1 = Nu_1 \cdot \frac{\lambda_1}{d_1} = 91.1 \cdot \frac{0.709}{0.032} = 2018 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C};$$

38) Число Рейнольдса для потока нагреваемой воды:

$$Re_2 = \frac{W_2 \cdot d_2}{\nu_2} = \frac{1.128 \cdot 0.013}{0.757 \cdot 10^{-6}} = 1.94 \cdot 10^4,$$

Режим течения турбулентный;

39) Принимаем во втором приближении температуру стенки со стороны нагреваемой воды:

$$t_{c2} = t_{c1} = 57.35^\circ C;$$

40) Число Прандтля по температуре стенки:

$$Pr_{c2} = Pr_{c1} = 3.52;$$

41) Число Нуссельта со стороны нагреваемой воды:

$$Nu_2 = 0.017 \cdot Re_2^{0.8} \cdot Pr_2^{0.4} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{c2}} \right)^{0.25} \cdot \left(\frac{D}{d_2} \right)^{0.18} =$$

$$= 0.017 \cdot (1.94 \cdot 10^4)^{0.8} \cdot 5.07^{0.4} \cdot \left(\frac{5.07}{3.52} \right)^{0.25} \cdot \left(\frac{0.048}{0.035} \right)^{0.18} = 104.6;$$

42) Коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой воде:

$$\alpha_2 = Nu_2 \cdot \frac{\lambda_2}{d_3} = 104.6 \cdot \frac{0.623}{0.013} = 5013 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C};$$

43) Коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2018} + \frac{0.0015}{45} + \frac{1}{5013}} = 1373 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C};$$

44) Плотность теплового потока:

$$q = K \cdot \Delta t_{CP} = 1373 \cdot 71.25 = 97826 \frac{Вт}{м^2};$$

48) Площадь поверхности нагрева:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{119.3}{97.83} = 1.22 м^2;$$

49) Число секций:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_1 \cdot l} = \frac{1.22}{3.14 \cdot 0.032 \cdot 2} = 6.07 \approx 6 \text{ (Приложение 4);}$$

50) Температура стенки трубы со стороны греющей воды:

$$t_{c1} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 106.25 - \frac{97826}{2018} = 57.77^\circ C;$$

51) При этой температуре:

$$Pr_{c1} = 3.49;$$

52) Уточнённое значение поправки:

$$\left(\frac{Pr_1}{Pr_{c1}} \right)^{0.25} = \left(\frac{0.126}{3.49} \right)^{0.25} = 0.436;$$

$$\text{Было принято } \left(\frac{Pr_1}{Pr_{c1}} \right)^{0.25} = \left(\frac{0.126}{3.52} \right)^{0.25} = 0.435$$

$$\left| 1 - \frac{0.435}{0.436} \right| \cdot 100\% = 0.23\% < 5\%, \text{ поэтому расчёт можно считать}$$

достаточно точным.

53) Температура стенки со стороны нагреваемой воды:

$$t_{c1} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 35 + \frac{97826}{5013} = 54.51^\circ C;$$

54) При этой температуре:

$$Pr_{c2} = 3.72;$$

55) Уточнённое значение поправки:

$$\left(\frac{\text{Pr}_2}{\text{Pr}_{c2}} \right)^{0.25} = \left(\frac{5.07}{3.72} \right)^{0.25} = 1.08$$

Было принято $\left(\frac{\text{Pr}_2}{\text{Pr}_{c2}} \right)^{0.25} = \left(\frac{5.07}{3.52} \right)^{0.25} = 1.096$

$$\left| 1 - \frac{1.08}{1.096} \right| \cdot 100\% = 1.46\% < 5\%, \quad \text{поэтому второе приближение}$$

ненужно, в данном случае совпадение точное.

Ответ: Поверхность нагрева $F = 1.22 \text{ м}^2$, число секций $n = 6$.