**4 вариант**

**Задание 1. Расчет теплообмена в одиночной трубе.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Дано:** |  |  |
| $$t\_{ж1}=100 °C;$$ |
| $$t\_{ж2}=20 °C;$$ |
| $$w\_{ж1}=0,15\frac{м}{с};$$ |
| $$w\_{ж2}=7,2\frac{м}{с};$$ |
| $$d=20 мм;$$ |
| Материал – Ст.20; |
| Жидкость внутри трубы – вода; | Рисунок 1.1 – Схема трубы. |
| Жидкость снаружи трубы – воздух. |  |  |

Определить коэффициент теплопередачи между жидкостью, движущейся внутри трубы, и поперечным потоком жидкости, омывающей наружную поверхность этой трубы. Внутри трубы движется жидкость, средняя скорость температура которой равны $w\_{ж1}$ и $t\_{ж1}$, соответственно. Толщина стенки трубы $δ=2 мм$. Относительная длина стержня $\frac{L}{d\_{r}}=200$, где $d\_{r}=\frac{4F}{P}$ – гидравлический диаметр канала, м.

**Решение:**

Решим задачу методом последовательных приближений. В первом приближении принимаем температуру стенки:

$$t\_{ст}=\frac{t\_{ж1}+t\_{ж2}}{2}=\frac{100+20}{2}=60 °C;$$

Определим коэффициенты теплоотдачи от жидкостей к стенке. Для этого определим режим течения, вычислив числа Рейнольдса:

$Re\_{1}=\frac{w\_{ж1}∙(d-\left(2∙δ\right))}{v\_{ж1}};$

$Re\_{2}=\frac{w\_{ж2}∙d}{v\_{ж2}};$

Кинематические вязкости жидкостей выбираем из справочника:

$v\_{ж1}=0,295∙10^{-6} м^{2}/с; $

$v\_{ж2}=15,06∙10^{-6} м^{2}/с;$

$Re\_{1}=\frac{w\_{ж1}∙(d-2∙δ)}{v\_{ж1}}=\frac{0,15∙(20-2∙2)}{0,295}∙10^{3}=8135,59;$

$Re\_{2}=\frac{w\_{ж2}∙d}{v\_{ж2}}=\frac{7,2∙20}{15,06}∙10^{3}=23,9;$

Режим течения воды – турбулентный, поскольку $Re\_{1}>Re\_{кр}=2300$.

Режим течения воздуха – ламинарный, поскольку $Re\_{2}<Re\_{кр}=2300$.

Числа Нурсельта для этих режимов течения:

$Nu\_{1}=0,021∙Re\_{1}^{0,8}∙Pr\_{1}^{0,43}∙\left(\frac{Pr\_{1}}{Pr\_{ст}}\right)^{0,25};$

$Nu\_{2}=0,15∙Re\_{2}^{0,33}∙Pr\_{2}^{0,43}∙Gr\_{2}^{0,1}∙\left(\frac{Pr\_{2}}{Pr\_{ст}}\right)^{0,25};$

$Gr\_{2}=\frac{g∙d^{3}∙β∙(t\_{ж1}-t\_{ст})}{v\_{ж2}^{2}}$ – число Грасгорфа;

$β$ − коэффициент объемного расширения воздуха при его температуре.

Согласно справочным данным: $β=36,84∙10^{-4} 1/°C$

$Nu\_{1}=0,021∙Re\_{1}^{0,8}∙Pr\_{1}^{0,43}∙\left(\frac{Pr\_{1}}{Pr\_{ст}}\right)^{0,25}=0,021∙8135,59^{0,8}∙1,75^{0,43}∙\left(\frac{1,75}{2,93}\right)^{0,25}=31,5558;$

$Gr\_{2}=\frac{g∙d^{3}∙β∙(t\_{ж1}-t\_{ст})}{v\_{ж2}^{2}}=\frac{9,81∙20^{3}∙10^{-9}∙36,84∙10^{-4}∙(100-60)}{15,06∙10^{-12}}=767915,86$

$Nu\_{2}=0,15∙Re\_{2}^{0,33}∙Pr\_{2}^{0,43}∙Gr\_{2}^{0,1}∙\left(\frac{Pr\_{2}}{Pr\_{ст}}\right)^{0,25}=0,15∙23,9^{0,33}∙0,703^{0,43}∙767915,86^{0,1}∙\left(\frac{0,703}{0,696}\right)^{0,25}=1,4281;$

Коэффициенты теплоотдачи для внутренней и наружной стенок:

$α\_{1}=\frac{λ\_{ж1}∙Nu\_{1}}{d-(2∙δ)}=\frac{0,683∙31,5558}{20-(2∙2)}=1,347\frac{Вт}{м^{2}∙°С};$

$α\_{2}=\frac{λ\_{ж2}∙Nu\_{2}}{d}=\frac{521∙1,4281}{20}=37,202\frac{Вт}{м^{2}∙°С};$

Коэффициент теплоотдачи через плоскую стенку:

$k=\frac{1}{\frac{1}{1,347}+\frac{1}{37,202}+\frac{0,002}{50}}=1,2999\frac{Вт}{м^{2}∙°С};$

Определим удельный тепловой поток:

$q=k∙\left(t\_{ж1}-t\_{ж2}\right)=1,2999∙\left(100-20\right)=103,992\frac{Вт}{м^{2}};$

Определяем температуру стенок:

Внутренней:

$t\_{ст1}=t\_{ж1}-\frac{q}{α\_{1}}=100-\frac{103,992}{1,347}=22,8 °C;$

$t\_{ст2}=t\_{ж2}-\frac{q}{α\_{2}}=20+\frac{103,992}{37,202}=22,8 °C;$

**Проверка:**

Произведем повторный расчет температуры стенок для $t\_{ст}=22,8 °C$, так как полученное значение температуры отличается от первого приближения $(60°C)$ более чем на 5%.

Числа Нурсельта для этих режимов течения:

$Nu\_{1}=0,021∙Re\_{1}^{0,8}∙Pr\_{1}^{0,43}∙\left(\frac{Pr\_{1}}{Pr\_{ст}}\right)^{0,25};$

$Nu\_{2}=0,15∙Re\_{2}^{0,33}∙Pr\_{2}^{0,43}∙Gr\_{2}^{0,1}∙\left(\frac{Pr\_{2}}{Pr\_{ст}}\right)^{0,25};$

$Gr\_{2}=\frac{g∙d^{3}∙β∙(t\_{ж1}-t\_{ст})}{v\_{ж2}^{2}}$ – число Грасгорфа;

$β$ − коэффициент объемного расширения воздуха при его температуре.

Согласно справочным данным: $β=36,84∙10^{-4} 1/°C$

$Nu\_{1}=0,021∙Re\_{1}^{0,8}∙Pr\_{1}^{0,43}∙\left(\frac{Pr\_{1}}{Pr\_{ст}}\right)^{0,25}=0,021∙8135,59^{0,8}∙1,75^{0,43}∙\left(\frac{1,75}{6,57}\right)^{0,25}=25,7939;$

$Gr\_{2}=\frac{g∙d^{3}∙β∙(t\_{ж1}-t\_{ст})}{v\_{ж2}^{2}}=\frac{9,81∙20^{3}∙10^{-9}∙36,84∙10^{-4}∙(100-22,8)}{15,06∙10^{-12}}=1482077,6$

$Nu\_{2}=0,15∙Re\_{2}^{0,33}∙Pr\_{2}^{0,43}∙Gr\_{2}^{0,1}∙\left(\frac{Pr\_{2}}{Pr\_{ст}}\right)^{0,25}=0,15∙23,9^{0,33}∙0,703^{0,43}∙1482077,6^{0,1}∙\left(\frac{0,703}{0,703}\right)^{0,25}=1,5214;$

Коэффициенты теплоотдачи для внутренней и наружной стенок:

$α\_{1}=\frac{λ\_{ж1}∙Nu\_{1}}{d-(2∙δ)}=\frac{0,683∙25,7939}{20-(2∙2)}=1,1011\frac{Вт}{м^{2}∙°С};$

$α\_{2}=\frac{λ\_{ж2}∙Nu\_{2}}{d}=\frac{521∙1,5214}{20}=39,6325\frac{Вт}{м^{2}∙°С};$

Коэффициент теплоотдачи через плоскую стенку:

$k=\frac{1}{\frac{1}{1,1011}+\frac{1}{39,6325}+\frac{0,002}{50}}=1,0713\frac{Вт}{м^{2}∙°С};$

Определим удельный тепловой поток:

$q=k∙\left(t\_{ж1}-t\_{ж2}\right)=1,0713∙\left(100-20\right)=85,704\frac{Вт}{м^{2}};$

Определяем температуру стенок:

Внутренней:

$t\_{ст1}=t\_{ж1}-\frac{q}{α\_{1}}=100-\frac{85,704}{1,1011}=22,8 °C;$

$t\_{ст2}=t\_{ж2}-\frac{q}{α\_{2}}=20+\frac{85,704}{39,6325}=22,8 °C;$

Принимаем температуру стенок равной: $t\_{ст}=22,8 °C$.