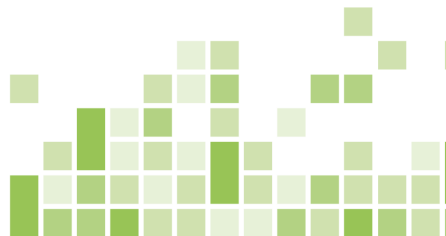




**Физико-технический
институт**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Практическое занятие № 17

Конвективный теплообмен

Задачи

21 апреля 2019 г.



Задача 1.

В вертикальной трубе квадратного сечения ($a = 50$ мм), высотой 6 м движется снизу вверх воздух. Определить коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенке трубы, если средняя скорость воздуха 1,0 м/с, температура воздуха на входе 190°C , на выходе – 50°C , средняя температура стенки 40°C .



Решение:

Режим движения определяем по величине числа Рейнольдса – уравнение (16.2). Коэффициент кинематической вязкости воздуха находим при определяющей температуре, равной средней температуре воздуха. Эквивалентный диаметр определяем по уравнению (16.10):

$$d_{\text{ЭКВ}} = \frac{4a^2}{4a} = a = 0,05 \text{ м};$$

Табличное значение кинематической вязкости воздуха при этой температуре $\nu = 25,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;



Решение:

$$t_{\text{в}} = \frac{190 + 50}{2} = 120^{\circ}\text{C};$$

$$Re = \frac{1,0 \cdot 0,05}{25,45 \cdot 10^{-6}} = 1965.$$

Режим движения воздуха ламинарный. Для расчета выбираем формулу (16.14) – процесс теплообмена при ламинарном движении воздуха в трубе. При этом необходимо учесть поправку на относительную длину трубы и на вертикальное расположение трубы. Первая поправка (при $L/d = 6/0,05 = 120$) $\varepsilon_l = 1$.



Решение:

Вторая поправка равна 1,15, так как воздух движется снизу вверх и при этом охлаждается.

Критерий Грасгофа рассчитываем по уравнению (16.5):

$$Gr = \frac{9,81 \cdot \frac{1}{120 + 273} \cdot 0,05^3 \cdot (120 - 40)}{(25,45 \cdot 10^{-6})^2} = 3,8 \cdot 10^5.$$

По формуле (16.14) для горизонтальной трубы рассчитаем критерий Нуссельта:

$$Nu = 0,13 \cdot 1 \cdot 1965^{0,33} \cdot (3,8 \cdot 10^5)^{0,1} = 5,74.$$



Решение:

Коэффициент теплопроводности воздуха находим при определяющей температуре $t_b = 120 \text{ }^\circ\text{C}$.

$\lambda_b = 3,338 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Тогда коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_3} = \frac{5,74 \cdot 3,338 \cdot 10^{-2}}{0,05} = 3,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \cdot$$

Для вертикальной трубы с учетом поправки

$$\alpha = 1,15 \cdot 3,87 = 4,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \cdot$$



Задача 2.

Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток при течении воды в трубе диаметром 40 мм, длиной 3 м со скоростью 1 м/с, если средняя температура воды 80 °С, а температура стенки 65 °С.



Решение:

Определим режим течения воды в трубе.

Физические параметры воды при определяющей температуре, равной 80°C:

$$\lambda = 67,5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт / (м·К)}; \nu = 0,365 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; Pr = 2,21.$$

Критерий $Pr_{ст}$ находим при температуре стенки 65°C:

$$Pr_{ст} = 2,74.$$

Значение критерия Рейнольдса находим по уравнению (16.2):

$$Re = \frac{1 \cdot 0,04}{0,365 \cdot 10^{-6}} = 1,095 \cdot 10^5 > 10^4.$$



Решение:

Режим движения турбулентный, поэтому выбираем критериальное уравнение (16.9):

$$Nu = 0,021 \cdot (1,095 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 2,21^{0,43} \cdot \left(\frac{2,21}{2,74}\right)^{0,25} = 300,95.$$

Определяем коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{301 \cdot 67,5 \cdot 10^{-2}}{0,04} = 5050 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Так как отношение $L/d = 3/0,04 = 75 > 50$, поправка $\epsilon_l = 1$.



Решение:

Тепловой поток определяем по уравнению (16.1):

$$Q = 5050 \cdot 3,14 \cdot 0,04 \cdot 3 \cdot (80 - 65) = 28543 \text{ Вт.}$$



Задача 3.

Как изменятся значения коэффициента теплоотдачи и теплового потока, если труба изогнута в виде змеевика диаметром 1000 мм, а остальные условия, как в задаче 2?



Решение:

Для изогнутых труб коэффициент теплоотдачи, полученный для прямых труб, умножают на поправочный коэффициент – уравнение (16.12):

$$\alpha_{зм} = \alpha \varepsilon_{зм} = 5050 \cdot \left(1 + 3,54 \cdot \frac{0,04}{1} \right) = 5757 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot$$

Тепловой поток соответственно равен

$$Q = 5757 \cdot 3,14 \cdot 0,04 \cdot 3 \cdot (80 - 65) = 32539 \text{ Вт}.$$



Задача 4.

Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток на единицу длины в поперечном потоке воздуха для трубы диаметром 30 мм, если температура ее поверхности 80°C , температура воздуха 20°C и скорость 5 м/с.



Решение:

Физические параметры воздуха при определяющей температуре, равной 20°C:

$$\lambda = 59,2 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К)}; \nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Значение критерия Рейнольдса находим по уравнению (16.2):

$$Re = \frac{5 \cdot 0,03}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 9,96 \cdot 10^3.$$



Решение:

Для расчета выбираем формулу (16.19) – процесс теплообмена при поперечном обтекании одиночной трубы при $Re > 10^3$:

$$Nu = 0,216 \cdot (9,96 \cdot 10^3)^{0,6} = 55,2.$$

Коэффициент теплоотдачи соответственно равен:

$$\alpha = \frac{55,2 \cdot 2,593 \cdot 10^{-2}}{0,03} = 47,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Тепловой поток на единицу длины трубы

$$q_l = 47,7 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot (80 - 20) = 270 \text{ Вт/м}.$$



Задача 5.

Определить средний коэффициент теплоотдачи для десятирядного ($n = 10$) коридорного пучка, обтекаемого поперечным потоком воды, если внешний диаметр труб в пучке 25 мм, средняя скорость в узком сечении 0,7 м/с; средняя температура воды 50°C и средняя температура поверхности труб 85°C.



Решение:

При коридорной схеме расположения труб используем уравнение (16.20). Физические параметры воды при определяющей температуре, равной 50°C :

$$\lambda = 64,8 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \nu = 0,556 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; Pr = 3,54.$$

Критерий $Pr_{\text{ст}}$ находим при температуре стенки 85°C :

$$Pr_{\text{ст}} = 2,13.$$

Значение критерия Рейнольдса находим по уравнению (16.2):

$$Re = \frac{0,7 \cdot 0,025}{0,556 \cdot 10^{-6}} = 31475.$$



Решение:

Коэффициент, учитывающий влияние угла атаки ($\varphi = 90^\circ$), равен 1. Тогда критерий Нуссельта

$$Nu = 0,23 \cdot 31475^{0,65} \cdot 3,54^{0,33} \cdot \left(\frac{3,54}{2,13}\right)^{0,25} = 332.$$

Коэффициент теплоотдачи для третьего и последующих рядов труб

$$\alpha_3 = \frac{332 \cdot 64,8 \cdot 10^{-2}}{0,025} = 8605 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$



Решение:

Средний коэффициент теплоотдачи для всего пучка труб

$$\begin{aligned}\alpha_{\text{ср}} &= \frac{1}{n} \cdot (0,6\alpha_3 + 0,9\alpha_3 + (n - 2)\alpha_3) \\ &= 8175 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}\end{aligned}$$



Задача 6.

Гладкая плита длиной 1,5 м и шириной 1 м обдувается продольным потоком воздуха со скоростью 5 м/с. Определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток, отданный плитой воздуху, если температура поверхности плиты 110°C , а температура обдувающего потока воздуха 20°C .



Решение:

Физические параметры воздуха при температуре 20°C:

$$\lambda = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; \nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2\text{/с}; Pr = 0,703.$$

Значение критерия Рейнольдса находим по уравнению (16.2):

$$Re = \frac{5 \cdot 1,5}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 4,98 \cdot 10^5.$$

Так как $Re > 10^5$, выбираем уравнение (16.23):

$$Nu = 0,032 \cdot (4,98 \cdot 10^5)^{0,8} = 1155.$$



Решение:

Коэффициент теплоотдачи и тепловой поток соответственно равны:

$$\alpha = \frac{1155 \cdot 2,593 \cdot 10^{-2}}{1,5} = 20 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$Q = 20 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot (110 - 20) = 2700 \text{ Вт.}$$



Задача 7.

Определить коэффициент теплоотдачи вертикальной стенки высотой 2 м воздуху, если средняя температура стенки 120°C , а температура воздуха вдали от стенки 20°C .



Решение:

Теплоотдача при свободном движении рассчитывается по формуле (16.26). Определяющая температура равна

$$t = \frac{120 + 20}{2} = 70^{\circ}\text{C}.$$

Физические параметры воздуха при определяющей температуре 70°C :

$$\lambda = 2,96 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \nu = 20,02 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; Pr = 0,694;$$

$$\beta = \frac{1}{70+273} = \frac{1}{343}.$$



Решение:

Критерий Грасгофа (формула 16.5)

$$Gr = \frac{9,81 \cdot \frac{1}{343} \cdot 2^3 \cdot (120 - 20)}{(20,02 \cdot 10^{-6})^2} = 56,99 \cdot 10^9.$$

$$Gr \cdot Pr = 56,99 \cdot 10^9 \cdot 0,694 = 39,55 \cdot 10^9.$$

При таком значении комплекса коэффициенты в уравнении (16.26) равны: $C = 0,135$; $n = 0,33$.

Таким образом,

$$Nu = 0,135 \cdot (39,55 \cdot 10^9)^{0,33} = 460;$$

$$\alpha = \frac{460 \cdot 2,96 \cdot 10^{-2}}{2} = 6,82 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$