

План занятия:

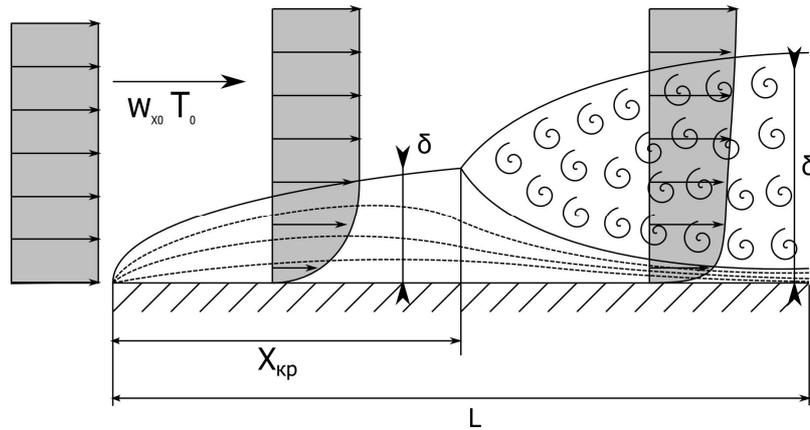
1. Теплоотдача при внешнем обтекании тел
2. Задачи

1. ТЕПЛОТДАЧА ПРИ ВНЕШНЕМ ОБТЕКАНИИ ТЕЛ

Основные соотношения для расчёта процессов теплоотдачи при внешнем обтекании плоской пластины:

1. Ламинарный режим течения

2. Турбулентный режим течения



Критическое число Рейнольдса для ламинарно-турбулентного перехода:

$$(Re_x)_{кр} = 2...5 \cdot 10^5$$

Толщина динамического пограничного слоя:

$$\delta = \frac{4,64 \cdot x}{\sqrt{Re_x}};$$

$$\delta = \frac{0,37 \cdot x}{Re_x^{0,2}}.$$

Локальный коэффициент трения:

$$\frac{c_f}{2} = \frac{0,332}{\sqrt{Re_x}};$$

$$\frac{c_f}{2} = \frac{0,0296}{Re_x^{0,2}}.$$

Локальное напряжение трения:

$$\tau_{cr} = \rho_0 w_{x0}^2 \frac{0,332}{\sqrt{Re_x}};$$

$$\tau_{cr} = \rho_0 w_{x0}^2 \frac{0,0296}{Re_x^{0,2}}.$$

Среднее по длине пластины напряжение трения:

$$\overline{\tau_{cr}} = \frac{1}{L} \int_0^L \tau_{cr} dx = \rho_0 w_{x0}^2 \frac{0,664}{\sqrt{Re_L}};$$

$$\overline{\tau_{cr}} = \rho_0 w_{x0}^2 \frac{0,037}{Re_L^{0,2}}.$$

Средний по длине пластины коэффициент трения:

$$\frac{\overline{c_f}}{2} = \frac{0,664}{\sqrt{Re_L}}$$

$$\frac{\overline{c_f}}{2} = \frac{0,037}{Re_L^{0,2}}.$$

Локальное число Нуссельта:

$$\boxed{Nu = 0,332 Re_x^{0,5} Pr_0^{1/3}}$$

$$\boxed{Nu = 0,0296 Re_x^{0,8} Pr_0^{0,43}}$$

Локальный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = 0,332 \frac{\lambda_0}{x} Re_x^{0,5} Pr_0^{1/3}$$

$$\alpha = 0,0296 \frac{\lambda_0}{x} Re_x^{0,8} Pr_0^{0,43}$$

Средний по длине пластины коэффициент теплоотдачи:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{L} \int_0^L \alpha dx = 0,664 \frac{\lambda_0}{L} Re_L^{0,5} Pr_0^{1/3}$$

$$\bar{\alpha} = 0,037 \frac{\lambda_0}{L} Re_L^{0,8} Pr_0^{0,43}$$

Среднее по длине пластины число Нуссельта:

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{при } \Delta T = \text{const} \quad \bar{Nu} = 0,664 Re_L^{0,5} Pr_0^{1/3} \\ \text{при } q_{\text{ст}} = \text{const} \quad \bar{Nu} = 0,5 Re_L^{0,5} Pr_0^{1/3} \end{array}}$$

$$\boxed{\bar{Nu} = 0,037 Re_L^{0,8} Pr_0^{0,43}}$$

Если перепад температуры по толщине пограничного слоя превышает 300 градусов, то полученное по формулам значение числа Нуссельта или коэффициента теплоотдачи следует домножить на $(Pr_0/Pr_{\text{ст}})^{0,25}$.

Определяющие числа Подобия:

Локальное число Рейнольдса: $Re_x = \rho_0 w_{x0} x / \mu_0$;

Число Рейнольдса построенное по длине пластины $Re_L = \rho_0 w_{x0} L / \mu_0$,

где w_{x0} – продольная скорость набегающего потока, [м/с], ρ_0, μ_0 – плотность [кг/м³] и динамическая вязкость [Па·с] газа набегающего потока, определённые по температуре набегающего потока, x – расстояние от передней кромки пластины [м], L – длина пластины [м].

Число Прандтля: $Pr_0 = \mu_0 c_{p0} / \lambda_0$ и $Pr_{\text{ст}} = \mu_{\text{ст}} c_{\text{рст}} / \lambda_{\text{ст}}$,

где $c_{p0}, \lambda_0, c_{\text{рст}}, \lambda_{\text{ст}}$ – удельная теплоёмкость при постоянном давлении [Дж/(кг·град)] и теплопроводность [Вт/(м·град)], определённые по температуре набегающего потока и температуре стенки соответственно.

Определяемые числа Подобия:

Локальный коэффициент трения $c_f / 2 = \tau_{\text{ст}} / (\rho_0 \cdot w_{x0}^2)$,

где $\tau_{\text{ст}}$ – напряжение трения на стенке [Н/м²].

Средний по длине пластины коэффициент трения $\bar{c}_f / 2 = \bar{\tau}_{\text{ст}} / (\rho_0 \cdot w_{x0}^2)$,

где $\bar{\tau}_{\text{ст}}$ – среднее по длине пластины напряжение трения на стенке [Н/м²].

Локальное число Нуссельта $Nu = \alpha L / \lambda_0$,

где α – локальный коэффициент теплоотдачи на стенке [Вт/(м²·град)].

Средний по длине пластины число Нуссельта $\bar{Nu} = \bar{\alpha} L / \lambda_0$,

где $\bar{\alpha}$ – средний по длине пластины коэффициент теплоотдачи [Вт/(м²·град)].

2. ЗАДАЧИ

Задача №1

Плоская тонкая пластина длиной $L = 2,5$ м омывается потоком воздуха со скоростью $w_0 = 3$ м/с при температуре $t_0 = 20^\circ\text{C}$. Определить характер пограничного слоя и его толщину δ на расстоянии от передней кромки пластины $x_1 = 0,2 \cdot L$, $x_2 = 0,5 \cdot L$ и $x_3 = L$.

Задача №2

Для условий задачи 1 определить локальные коэффициенты теплоотдачи на расстоянии от передней кромки пластины $x_1 = 0,2 \cdot L$ и $x_2 = 0,5 \cdot L$ и средний коэффициент теплоотдачи для пластины длиной $L = 2,5$ м.

Задача №3

Плоская стенка длиной $L = 1,5$ м и шириной $b = 1$ м омывается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока соответственно равны $w_0 = 4$ м/с и $t_0 = 20^\circ\text{C}$, температура поверхности пластины $t_{\text{ст}} = 50^\circ\text{C}$. Определить средний коэффициент трения $\overline{c}_f/2$, средний коэффициент теплоотдачи $\overline{\alpha}$ и тепловой поток от пластины к воздуху.

Задача №4

Гладкая плита длиной $L = 1,5$ м и шириной $b = 1$ м обдувается продольным потоком воздуха со скоростью $w_0 = 10$ м/с. Определить средний по длине коэффициент теплоотдачи и тепловой поток от плиты к воздуху, если температура поверхности плиты $t_{\text{ст}} = 110^\circ\text{C}$, а температура обдувающего потока воздуха $t_0 = 20^\circ\text{C}$.

Задача №5

Тонкая пластина длиной $L = 2$ м и шириной $b = 0,5$ м с обеих сторон омывается продольным потоком воды со скоростью $w_0 = 5$ м/с; температура набегающего потока $t_0 = 10^\circ\text{C}$, средняя температура поверхности пластины $t_{\text{ст}} = 50^\circ\text{C}$. Определить тепловой поток от пластины к воде.