

УДК 621.651-181.4-629.786

ТОЛЩИНА ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АФИНОПОДОБНОЙ МОДЕЛИ

© Неватус И.С., Зуев А.А.

e-mail: nevatusis@gmail.com

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация*

При критерии Прандтля $Pr < 1$ толщина динамического пограничного слоя больше толщины температурного пограничного слоя [1]. Тепловой поток может покинуть пристеночную область только путем теплопроводности или турбулентного переноса [2].

Предположим, что температурный пограничный слой имеет конечную толщину δ_t . Данное допущение является идеализацией процессов, характерной для интегрального метода.

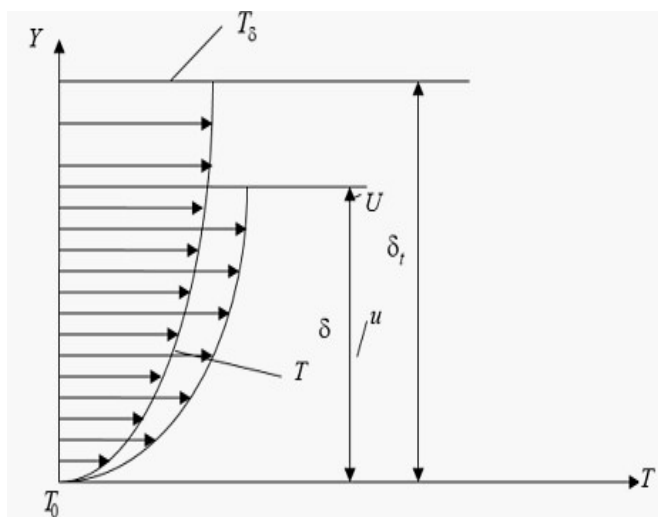


Рис. Профили распределения динамического и температурного пограничных слоев

Будем использовать двухслойную модель распространения профиля скорости с ламинарным подслоем и турбулентным профилем в основной части. Потому что профиль распределения скорости в динамическом пограничном слое должен иметь производную на стенке, т. е. удовлетворять условию, требуемому дифференциальным уравнениям движения пограничного слоя.

Рассмотрим толщину потери энергии температурного пограничного слоя

$$\delta_{i\varphi}^{**} = \int_0^{\delta_t} \frac{u}{U} \left(1 - \frac{T - T_0}{T_\delta - T_0} \right) dy. \quad (1)$$

Профили распределения динамического и температурного пограничных слоев показаны на рисунке. Рассматривая уравнение для толщины потери энергии (1), видим, что необходимо разбить границы интегрирования на два характерных участка:

– участок от 0 до толщины динамического пограничного слоя δ ;

– участок от толщины динамического пограничного слоя δ до толщины температурного пограничного слоя δ_t .

Тогда выражение для толщины потери энергии (1) преобразуется:

$$\delta_{\text{тп}}^{**} = \int_0^{\delta} \frac{u}{U} \left(1 - \frac{T - T_0}{T_{\delta} - T_0} \right) dy + \int_0^{\delta} \frac{u}{U} \left(1 - \frac{T - T_0}{T_{\delta} - T_0} \right) dy. \quad (2)$$

Учитывая профили аппроксимации температурного и динамического пограничных слоев, запишем выражение для толщины потери энергии:

$$\delta_{\text{тп}}^{**} = \int_0^{\delta} \left(\frac{y}{\delta} \right)^{\frac{1}{m}} \left(1 - \left(\frac{y}{\delta_t} \right)^{\frac{1}{m}} \right) dy + \int_{\delta}^{\delta_t} \left(\frac{y}{\delta} \right)^{\frac{1}{m}} \left(1 - \left(\frac{y}{\delta_t} \right)^{\frac{1}{m}} \right) dy. \quad (3)$$

Введем замену переменных:

$$A = \int_0^{\delta} \left(\frac{y}{\delta} \right)^{\frac{1}{m}} \left(1 - \left(\frac{y}{\delta_t} \right)^{\frac{1}{m}} \right) dy, \quad B = \int_{\delta}^{\delta_t} \left(\frac{y}{\delta} \right)^{\frac{1}{m}} \left(1 - \left(\frac{y}{\delta_t} \right)^{\frac{1}{m}} \right) dy.$$

Рассмотрим каждый член уравнения для толщины потерь энергии отдельно.

В первом члене введем замену через отношение толщины температурного и динамического пограничных слоев в произвольных сечениях $r = \frac{\delta_t}{\delta}$, тогда

$$A = \int_0^{\delta} \left(\frac{y}{\delta} \right)^{\frac{1}{m}} \cdot \left(1 - \left(\frac{y}{r \cdot \delta} \right)^{\frac{1}{m}} \right) dy = \frac{m \cdot \delta \cdot \left(m \cdot r^{\frac{1}{m}} + 2 \cdot r^{\frac{1}{m}} - m - 1 \right)}{r^{\frac{1}{m}} \cdot (m+1) \cdot (m+2)} \quad (4)$$

Рассмотрим второй член уравнения для толщины потери энергии (3) в границах интегрирования от толщины динамического пограничного слоя δ до толщины температурного пограничного слоя δ_t . Отметим, что изменения эпюры скорости вдоль оси Y не происходит и скорость равна скорости потока в ядре течения. В этом случае распределение эпюры скорости во втором члене уравнения (3) запишется как

$$\frac{u}{U} = \left(\frac{y}{\delta} \right)^{\frac{1}{m}} = 1.$$

Тогда

$$B = \int_{\delta}^{\delta_t} \left(1 - \left(\frac{y}{\delta_t} \right)^{\frac{1}{m}} \right) dy = - \frac{\delta \cdot \delta_t^{\frac{1}{m}} - \delta_t \cdot \delta_t^{\frac{1}{m}} - \delta \cdot \delta_t^{\frac{1}{m}} \cdot m + \delta m \delta_t^{\frac{1}{m}}}{\delta_t^{\frac{1}{m}} (m+1)} \quad (5)$$

С учетом выражения (5) толщина потерь энергии температурного пограничного слоя определится как

$$\delta_{t\varphi}^{**} = A + B = \frac{m \cdot \delta \cdot \left(m \cdot r^{\frac{1}{m}} + 2 \cdot r^{\frac{1}{m}} - m - 1 \right)}{r^{\frac{1}{m}} \cdot (m+1)(m+2)} - \frac{\delta \cdot \delta_t^{\frac{1}{m}} - \delta_t \cdot \delta_t^{\frac{1}{m}} - \delta \cdot \delta^{\frac{1}{m}} \cdot m + \delta m \delta_t^{\frac{1}{m}}}{\delta_t^{\frac{1}{m}} (m+1)}. \quad (6)$$

Полученное выражение для определения толщины потери энергии температурного пограничного слоя при $Pr < 1$, необходимо для решения интегрального соотношения уравнения энергии.

Библиографический список

1. Дрейцер Г.А., Кутырин И.Н., Балашов В.В., Макарова А.В. Экспериментальное исследование теплообмена в авиационной технике. М.: МАИ, 1988. – 80 с.
2. Локай В.И., Бодунов М.Н., Щукин А.В. Теплопередача в охлаждаемых деталях газотурбинных двигателей. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. 288 с.: ил.