

## ТЕПЛОБМЕН В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ ГРАДИЕНТЕ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЕ ОБТЕКАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В. А. СОЛОПОВ

(Москва)

Результаты интегрирования системы уравнений для расчета теплообмена при течении воздуха в турбулентном пограничном слое с переменным градиентом давления и температурой стенки сравниваются с экспериментальными данными, полученными в сходных условиях.

В [1, 2] предложена замкнутая система дифференциальных уравнений для описания поведения осредненных характеристик в стационарных и плоских в среднем турбулентных течениях несжимаемой жидкости с теплообменом. Эта система в [1, 2] интегрировалась для случая плоской пластины ( $\partial P / \partial x \equiv 0$ ) и постоянной температуры стенки. Представляет интерес проверить качество описания течения в сложных случаях обтекания ( $\partial P / \partial x \neq 0$ ,  $T_w(x) \neq \text{const}$ ). Такая проверка может быть проведена путем сравнения результатов измерения и расчета, проведенных в одних и тех же условиях. Для этого необходимо, чтобы в эксперименте достаточно подробно были измерены скорость на границе пограничного слоя (или распределение давления вдоль обтекаемой поверхности) и температура поверхности.

Результаты таких измерений для ряда случаев приведены в работе [3], в которой для каждого случая измерялись распределения вдоль пластины местных чисел Стантона, температуры стенки и скорости на границе пограничного слоя. Измерения выполнены при низких скоростях потока ( $10 \div 60$  м/сек). Диапазон изменения температурного фактора  $0.83 < T_w / T_\infty < 0.98$ . Поэтому теплофизические характеристики могут быть приняты постоянными поперек пограничного слоя. Ошибка измерений местного числа Стантона составляла приблизительно  $\pm 6\%$ .

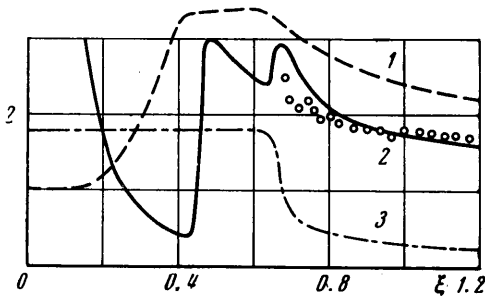
Два варианта опыта представлены на фиг. 1 и 2. Кривые 1 на этих фигурах — экспериментальное распределение скорости  $U_\infty(x) / U_0$  на границе пограничного слоя вдоль обтекаемой поверхности ( $\xi = x / X_0$ ,  $X_0 = 1.525$  м). Кривые 3 — измеренное распределение температуры  $10 [T_w(x) / T_\infty - 0.8]$  поверхности пластины. Точки на фигурах — измеренные значения числа Стантона

$$S = q_w(x) / \{\rho c_p U_\infty(x) [T_\infty - T_w(x)]\}$$

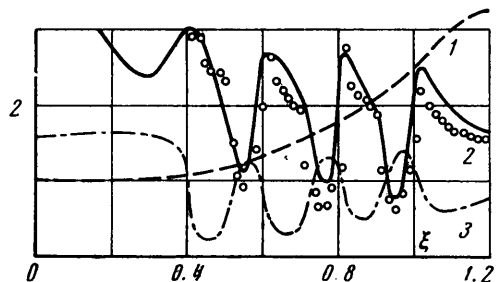
Интегрирование системы уравнений начиналось на расстоянии  $\xi_0 = 0.006$ , где число Рейнольдса  $R = U_0 x_0 / \nu = 10^4$ . В этом сечении  $\partial P / \partial x \equiv 0$ . Поэтому для средней скорости и температуры были заданы распределения, даваемые ламинарной теорией для плоской пластины. Распределения энергии и масштаба турбулентности в начальном сечении  $\xi = \xi_0$  были заданы в виде

$$e(y) = E_0 f^2(y), \quad L(y) = L_0 f_1(y) \quad (E_0 = 3/2 u_\infty'^2)$$

где  $u_\infty' / U_0$  — интенсивность турбулентности набегающего потока при  $\xi = \xi_0$ ,  $L_0$  — масштаб турбулентности набегающего потока в этом же сечении,  $f(y)$  — распределение Блазиуса для средней скорости в начальном сечении, когда  $\xi = \xi_0$ ,  $f_1(y)$  —



Фиг. 1



Фиг. 2

функция, которая при  $y \leq L_0$  равна расстоянию от обтекаемой поверхности, а при  $y > L_0$  равна единице и скруглена при помощи параболы вблизи точки  $y = L_0$ .

Расчеты были проведены при  $u_\infty' / U_0 = 0.0245$  и  $Re_L = L_0 U_0 / \nu = 500$ . Для выяснения влияния интенсивности турбулентности набегающего потока на теплообмен была проведена серия расчетов при различных  $u_\infty' / U_0$ . Результаты этой серии показали, что в турбулентной области течения в слое степень турбулентности набегающего потока очень слабо влияет на значение числа  $S$ . Она влияет только на положение места перехода. При  $u_\infty' / U_0 = 0.0245$  точка перехода расположена на расстоянии  $\xi = 0.12$ .

При интегрировании системы уравнений значения средней скорости на границе пограничного слоя и температуры стенки вычислялись из таблиц по формулам линейной интерполяции. Таблицы составлялись на основе графиков, приведенных в [3], с постоянным шагом  $\Delta \xi = 0.02$ .

На печать выдавались рассчитанные значения местного числа Стантона и координаты  $\xi$ .

Необходимое для вычисления числа Стантона значение местного теплового потока вычислялось после интегрирования системы уравнений методом сеток на ЭВМ по значению производной  $\partial T / \partial y$  при  $y = 0$ . Значение производной температуры при  $y = 0$  вычислялось по рассчитанным значениям температуры в первых двух точках сетки.

Значения полученного в расчетах числа  $10^3 S$  представлены на фиг. 1 и 2 кривыми 2. В зонах пограничного слоя, где тепловые потоки были измерены, расчетные и измеренные значения чисел Стантона совпадают с точностью  $10 \div 15\%$ .

Автор благодарен Г. И. Петрову, Г. С. Глушко и Л. А. Чудову за полезные советы и обсуждение.

Поступило 29 XII 1971

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глушко Г. С. Некоторые особенности турбулентных течений несжимаемой жидкости с поперечным сдвигом. Изв. АН СССР, МЖГ, 1971, № 4.
2. Глушко Г. С., Солопов В. А. Процесс переноса тепла в турбулентных течениях. Изв. АН СССР, МЖГ, 1972, № 4.
3. Moretti P. M., Kays W. M. Heat transfer to a turbulent boundary layer with varying free-stream velocity and varying surface temperature — an experimental study. Internat. J. Heat and Mass Transfer, 1965, vol. 8, No. 9.

УДК 532.529

### ГИДРОДИНАМИКА ГАЗО-ЖИДКОСТНОГО ПОТОКА В КОЛЬЦЕВЫХ КАНАЛАХ С ВНУТРЕННИМ ВРАЩАЮЩИМСЯ ЦИЛИНДРОМ

А. Г. БЕЙНУСОВ, А. Н. ХОЗЕ

(Новосибирск)

Рассматривается один из возможных способов организации воздушно-испарительного охлаждения [1] в кольцевых каналах с внутренним вращающимся цилиндром. При этом на поверхность внутреннего цилиндра смачиванием наносится жидкостная пленка при осевом направлении скорости воздушного потока. Выполненные эксперименты, визуальные наблюдения и киносъемка процесса показали, что поверхность пленки остается невозмущенной и имеет ламинарный характер течения. При этом число Рейнольдса для пленки  $R' < 15$  [2]. В ядре газового потока при некотором значении угловой скорости  $\omega$ , возникает неустойчивость в виде вихрей Тейлора с осью вращения, перпендикулярной оси коаксиальных цилиндров [3].

Здесь изучалось ламинарное течение «тонких» пленок с гладкой поверхностью раздела фаз при безвихревом и вихревом течениях ядра газо-жидкостного потока. Вследствие аксиальной симметрии течения и малой толщины пленки по сравнению с радиусом внутреннего цилиндра задача рассматривается как одномерная [4]. Используя цилиндрическую систему координат, имеем

$$\partial w' / \partial r \gg \partial w' / \partial z, \quad \partial p / \partial r = 0 \quad (1)$$