

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МАССОПЕРЕНОСА В СВОБОДНОЙ  
ПРЯМОТОЧНОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СТРУЕ

Представляет интерес при решении некоторых задач струйной турбулентности использование квазилинейного уравнения теории термодинамики необратимых процессов [1,2]. Это уравнение совместно с уравнением количества движения позволяет получить для автомодельных по числу Рейнольдса течений ряд характерных закономерностей [1,2]. Однако применение квазилинейного уравнения для решения задач свободной турбулентности затруднено неопределенностью коэффициентов массопереноса, входящих в уравнение. Микрофизическая теория термодинамики необратимых процессов не позволяет находить значения коэффициентов. Попытаемся в первом приближении выяснить характер изменения коэффициента массопереноса по сечению основного участка струи с одной степенью свободы – кинетической.

Согласно [1], обобщенное уравнение переноса для системы с одной степенью свободы, изолированной по отношению к перекрестным коэффициентам, приводится к виду

$$\rho u = L_{xx}^u - \frac{\partial u^2}{\partial x}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность;  $u$  – проекция абсолютной скорости на ось  $x$ ;  $L_{xx}^u$  – коэффициент массопереноса, определяющий влияние градиента квадрата абсолютной скорости, действующей в направлении оси  $x$  на перемещение массы в этом же направлении.

Размерность коэффициента массопереноса определим с помощью формулы размерности

$$L_{xx}^u = M_{xx}^u \rho \frac{L}{U}, \quad (2)$$

где  $M_{xx}^u$  – безразмерный коэффициент массопереноса;  $L$  – характерная длина. Для струи в качестве характерной длины принимаем ее радиус  $R$  (рис. 1);  $U$  – характерная скорость. В качестве характерной скорости будем считать проекцию абсолютной скорости на ось  $x$ .

Выражение (1) с учетом (2) принимает вид

$$\rho u = M_{xx}^u \rho \frac{L}{u} \frac{\partial u^2}{\partial x} = M_{xx}^u \rho L^2 \frac{\partial u}{\partial x}. \quad (3)$$

Учитывая, что  $R = x \operatorname{tg} \alpha = 0,22 x$  [1], получаем

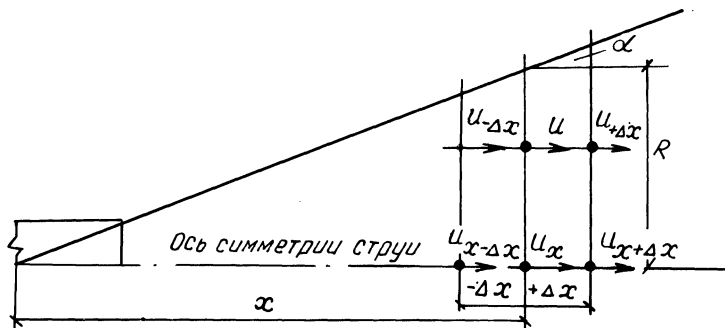


Рис. 1. Схема струи.

$$u = 2 x \operatorname{tg} a M_{xx}^u \frac{\partial u}{\partial x} = 0,44 M_{xx}^u x \frac{\partial u}{\partial x}, \quad (4)$$

где  $a$  – угол раскрытия струи;  $x$  – расстояние от полюса основного участка струи до рассчитываемого сечения. Полюс струи помещен в плоскости начала истечения.

Выражение (4) позволяет получить скорость в любой точке свободной осесимметричной прямоточной струи при известном коэффициенте  $M_{xx}^u$ .

Для определения характера изменения и значения коэффициента массопереноса на основном участке струи запишем уравнение (4) относительно коэффициента массопереноса в конечных разностях, а скорость на расстоянии  $r$  от оси потока определим уравнением Шлихтинга. После некоторых преобразований придем к выражению вида

$$M_{xx}^u = \frac{1}{\frac{0,22 x}{\Delta x \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^{3/2}\right)^2} \left\{ \frac{x}{x + \Delta x} \left[1 - \left(\frac{r}{R + 0,22 \Delta x}\right)^{3/2}\right]^2 - \frac{x}{x - \Delta x} \left[1 - \left(\frac{r}{R - 0,22 \Delta x}\right)^{3/2}\right]^2 \right\}} \quad (5)$$

В пределе, когда  $\Delta x$  стремится к нулю, получаем

$$M_{xx}^u = \frac{\left[1 - \left(\frac{r}{0,22 x}\right)^{3/2}\right]}{0,44 \left[4 \left(\frac{r}{0,22 x}\right)^{3/2} - 1\right]}. \quad (6)$$

По выражению (6) построен график изменения коэффициента массопереноса в поперечном сечении струи (рис. 2). Из графика видно, что коэффи-

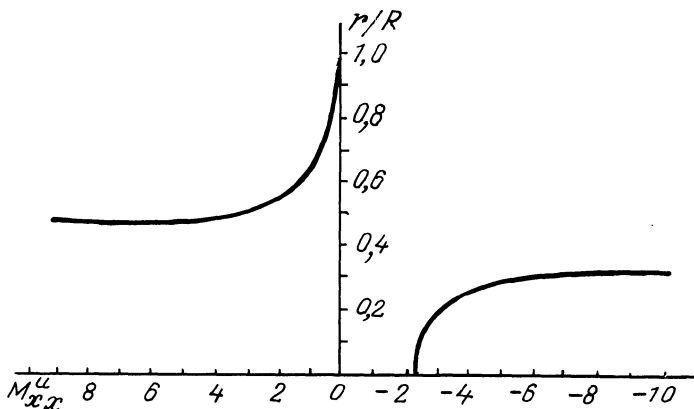


Рис. 2. Изменение коэффициента массопереноса по сечению основного участка струи.

коэффициент массопереноса по сечению струи не является величиной постоянной. По направлению оси струи он возрастает, претерпевая на поверхности  $r/R = 0,4$  разрыв. На оси основного участка струи коэффициент массопереноса есть величина постоянная и равная  $-2,27$ .

Представляет интерес проследить характер изменения коэффициента  $M_{xx}^u$  в поперечных сечениях начального и переходного участков струи, а также соответствие выражения (6) опыту. Для этой цели создана экспериментальная установка, схема которой показана на рис. 3. В качестве приемника давления применяется пневмометрическая трубка. Измерение давлений производится мембраной с наклеенными на нее чувствительными тензодатчиками. Усиление выходного сигнала от тензодатчика осуществляется усилителем Ф 116/1. Усиленный сигнал регистрируется самописцем.

Пневмометрическая трубка тарировалась в аэродинамической трубе по эталонной трубке. Коэффициент тарируемой трубки определялся через отношение ординат графиков:

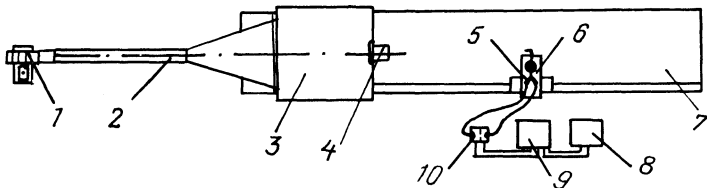


Рис. 3. Схема экспериментальной установки:  
1 – радиальный вентилятор; 2 – сеть воздухопроводов; 3 – камера статического давления; 4 – коллектор с соплом; 5 – пневмометрическая трубка; 6 – координатник; 7 – плита; 8 – самописец; 9 – усилитель; 10 – диафрагма.

$$\zeta = \sqrt{\frac{A_3 - a_3}{A - a}}, \quad (7)$$

где  $A_3 - a_3$  — показания микроманометра, соединенного с эталонной трубкой;  $A - a$  — показания микроманометра, соединенного с тарируемой трубкой.

Зависимость величины электрического сигнала, измеренного на приборе, от величины давления, принимаемого датчиком, является основной характеристикой датчика. Тарировка тензодатчиков производилась постоянным давлением. В качестве эталона применялся микроманометр. Относительная погрешность микроманометра в процентах составит

$$\delta \leq \left( 0,275 + \frac{\Delta(A-a)}{A-a} 100 + \frac{S_2}{S_1} \frac{100}{\sin a} \right), \quad (8)$$

где  $0,275 = \delta_c + \delta_n = 0,125 + 0,15$  — относительная погрешность измерения плотности спирта и определения угла наклона трубки;  $\frac{\Delta(A-a)}{A-a} 100$  — относительная погрешность отсчета по шкале микроманометра;  $\frac{S_2}{S_1} \frac{100}{\sin a}$  — относительная погрешность, возникающая из-за перемещения уровня жидкости в баке микроманометра;  $\frac{S_2}{S_1}$  — величина постоянная для каждого микроманометра;  $a$  — угол наклона шкалы микроманометра.

Описанная экспериментальная установка и методика измерения давлений позволяют получить значения коэффициента массопереноса в широком диапазоне скоростей.

**В ы в о д ы.** 1. Значение коэффициента массопереноса по сечению основного участка струи — величина переменная.

2. Коэффициент массопереноса по направлению оси основного участка струи возрастает, претерпевая на поверхности  $r/R=0,4$  разрыв.

3. На оси основного участка коэффициент массопереноса является величиной постоянной и равной  $M_{xx}^u = -2,27$ .

4. Создана экспериментальная установка, позволяющая определять значения коэффициентов массопереноса на начальном, основном и переходном участках.

## Л и т е р а т у р а

1. С ы ч е в А.Т. Исследование изотермической струи несжимаемого газа с помощью теории термодинамики необратимых процессов. — Изв. АН БССР. Сер. физ.-энергет. наук, 1978, № 3, с. 63–67. 2. С ы ч е в А.Т. Исследование переходного участка и положения полюса турбулентной газовой струи. — Там же, 1977, № 4, с. 53–57.