

Куланцев М.Ф., Базоев Т.Х., Коссой В.А.

## РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ВНЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ ОБЛАСТИ ЗАТОПЛЕННОЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СТРУИ

В работе [1] приведено решение задачи расчета функции тока вне турбулентной области осесимметричной струи методом интегральных соотношений. К сожалению, автор ограничился только этим решением, проиллюстрировав его графическими материалами без указания размерности как по осям координат, так и величин функций тока, что полностью исключает возможность использования результатов исследования в практических целях.

Целью настоящей работы являлась разработка методики расчета течения (линий тока и поля скоростей) вне турбулентной области свободной затопленной изотермической осесимметричной струи в безразмерной форме, что, в конечном итоге, позволило построить окончательное решение поставленной задачи.

При решении данной задачи [1] принята сферическая система координат  $r, \theta, \varphi$  с полярной осью вдоль оси струи и началом координат в точке ее выхода. В силу осевой симметрии струи компонента скорости  $U_\varphi$  отсутствует, а  $U_\theta$  и  $U_r$  являются функциями только  $r$  и  $\theta$ . Эти скорости определяются по формулам [1]:

$$U_r = -\frac{b}{r}, \quad (1)$$

$$U_\theta = \frac{b(1 + \cos \theta)}{r \sin \theta}, \quad (2)$$

где  $b$  — коэффициент, определяемый начальными условиями истечения струи;

$r$  — радиус-вектор произвольной точки вне турбулентной области струи;

$\theta$  — угловая координата этой точки (рис. 1).

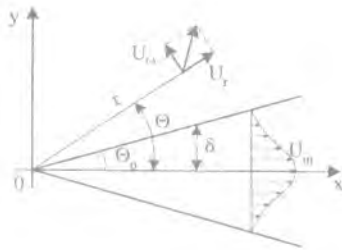


Рис.1

Координаты  $x$  и  $y$  определяются по формулам:

$$x = r \cos \theta; \quad y = r \sin \theta.$$

Коэффициент  $b$  определяется по формуле:

$$b = \frac{q \cos \theta_0}{2\pi (1 + \cos \theta_0)} = \frac{q}{4\pi} \cdot \left(1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\theta_0}{2}\right) \quad (3)$$

где  $q$  – расход жидкости в струе, отнесенный к единице ее длины:

$$q = \frac{b_1}{b_2} \frac{\chi}{0,0726} \left(\frac{J}{\rho}\right)^2, \quad (4)$$

$b_1$  и  $b_2$  – коэффициенты, зависящие от профиля скорости в поперечном сечении струи, числовые значения которых приняты равными, соответственно

$$b_1 = \frac{1}{10}, \quad b_2 = \frac{11}{210}, \quad (5)$$

$J$  – избыточный импульс струи в рассматриваемом сечении,

$\rho$  – плотность жидкости в струе.

$$\chi = \frac{1}{24} \frac{\delta}{x} = \frac{1}{24} \operatorname{tg} \theta_0 \quad \text{– экспериментальный коэффициент.}$$

Так как в рассматриваемом случае плотность жидкости в струе и в окружающем пространстве одинакова, то, применяя закон сохранения избыточного импульса, для осесимметричной струи имеем:

$$\frac{J}{\rho} = \frac{J_0}{\rho} = \pi d_0^2 U_0^2 = \frac{\pi}{4} d_c^2 U_0^2, \quad (6)$$

где  $d_c$  – диаметр сопла;  $U_0$  – начальная скорость струи.

Таким образом, с учетом (6), (5) и (4) находим:

$$b = 0,155 U_0 \cdot d_c \operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2} \quad (7)$$

Результирующая скорость потока в точке вне турбулентной области будет:

$$U = \sqrt{U_r^2 + U_\theta^2} = \frac{b \cdot 2}{r} \cdot \frac{1 + \cos \theta}{\sin \theta} \quad (8)$$

Согласно работе [1], рассматриваемому течению соответствует функция тока:

$$\psi = b \cdot r(1 + \cos \theta) \quad (9)$$

Приимая  $\psi = const$ , получим уравнение линии тока:

$$r = \frac{\psi}{b(1 + \cos \theta)} \quad (10)$$

или

$$r = \frac{6,452 \psi}{U_0 d_c \operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2} (1 + \cos \theta)} \quad (11)$$

Введем безразмерные величины:

$$\psi = \frac{\psi}{Q_0}; r = \frac{r}{d_c}; U = \frac{U}{U_0} \quad (12)$$

Здесь  $Q_0 = \frac{\pi}{4} d_c^2 U_0$  – расход жидкости через сопло,  $U_0$  – скорость истечения струи.

Тогда

$$\psi = 0,197 \operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2} (1 + \cos \theta) r_1, \quad (13)$$

откуда

$$r_1 = 5,065 \frac{\psi}{\operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2} (1 + \cos \theta)} \quad (14)$$

Здесь индекс «1» соответствует линии тока. Поле скоростей вне турбулентной области будет определяться семейством кривых при  $U = const$ . Решая уравнение (8) относительно  $r$ , в безразмерном виде получим:

$$r_3 = 0,155 \frac{\operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2}}{U \sin \frac{\theta}{2}} \quad (15)$$

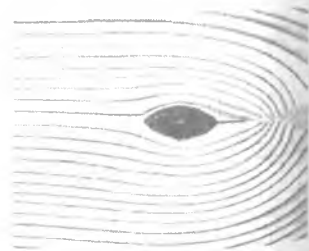


Рис. 2. Фотография реального взаимодействия струи с внешним потоком

Таким образом, формулы (8), (13), (14) и (15) позволяют построить обобщенную картину течения вне турбулентной области осесимметричной затопленной струи. Для этого необходимо и достаточно знать угол полураствора струи  $\theta_0$ , который можно либо измерить по фотографии, полученной с помощью камеры для визуализации обтекания тел плоским потоком жидкости [2] (рис. 2), либо взять по рекомендациям [1].

На рисунке 3 представлена расчетная обобщенная картина рассматриваемого течения.

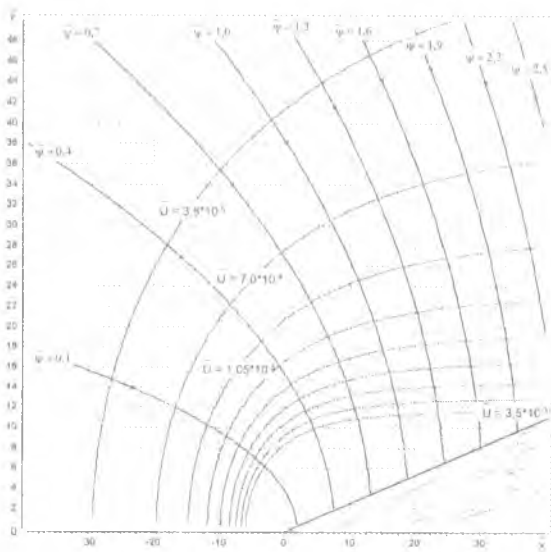


Рис. 3. Обобщенная картина течения вне турбулентной области осесимметричной затопленной струи (стрелками обозначены линии тока)

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гиневский А.С. Теория турбулентных струй и следов. Интегральные методы расчета. – М.: Машиностроение, 1969.
2. Кулашев М.Ф., Шахов В.Г., Чапаев В.Ф. Камера для визуализации обтекания тел плоским потоком жидкости. А. С. СССР № 726456.