

М.С. Исатаев, Г.О. Ильясова

Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

## ИЗМЕРЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ КРУГЛОГО ЦИЛИНДРА

**Аннотация:** В представленной статье исследование влияния загромождения потока на аэродинамику течения и изучения картины течения вблизи поверхности круглого цилиндра.

**Ключевые слова:** круглый цилиндр, трубки Пито, турбулентное движение, след турбулентности, интенсивность, турбулентности.

### Введение

Исследование влияния загромождения потока на аэродинамику течения началось с изучения картины течения вблизи поверхности круглого цилиндра. Для этого использовались латунные и стальные (полые) цилиндры диаметром от 16 до 111 мм, длиной 150 мм. Оставляя ширину канала постоянной и изменяя диаметры цилиндров, получаем разные степени загромождения. Кроме того, были проведены измерения одним цилиндром при изменении ширины канала от 70 до 150 мм. Результаты опыта показали подобность картины при одних и тех же значениях загромождения и числа Рейнольдса.

Поверхность цилиндров тщательно полировалась. Для измерения распределения давления на поверхности цилиндров в их боковых стенках просверливались отверстия диаметром 0,3 мм.

Исследования распределения скорости, интенсивности турбулентности, а также изучение спектров частот вблизи поверхности тела проводилось с помощью электротермоанемометров ЭТАМ-3А и ЭТА-5А.

Измерительной нитью насадка служила вольфрамовая проволока диаметром 7 и 9 мк. Расстояние между ножками насадки 4, 5 мм. Такая длина рабочей части измерительной нити соответствует требованиям  $\text{длина/диаметр} \geq 200$  [1].

Совместно с аппаратурой ЭТАМ-3А и ЭТА-5А также были использованы: усилитель УИПП-2 и электростатический

вольтметр 6-95 для измерения среднеквадратичных значений пульсаций напряжения на концах измерительной нити; амперметр постоянного тока на 750 мА с классом точности 0,5. Измерения спектра частот проводились 16-канальным частотным анализатором. Суть его заключалась в том, что каждый канал регистрировал колебания только определенной частоты в интервале от 20 до 9000 Гц. Например, 1 канал - колебания с частотой 20 Гц; 2 канал - 30 Гц; 3 канал - 45 Гц и т.д. Полоса пропускания фильтра каждого канала составляет 10% от частоты, на которую настроен фильтр. Турбулентные пульсации скорости визуально наблюдались с помощью осциллографа.

Для изучения закономерностей течения вблизи тела был использован цилиндр из латуни диаметром 58 мм. Внутри центральной части цилиндра был установлен координатник для изменения расстояния нити от поверхности тела. К текстолитовой катушке жестко закреплены два медных стержня диаметром 0,5 мм которые выходят из цилиндра через фторопластовую шайбу. Шайба служит направляющей для стержней, а также изолирует их от цилиндра и его поверхность составляет как бы единое целое с поверхностью цилиндра. С другой же стороны в цилиндр ввинчивается металлическая пробка с отверстием в середине для прохода болта. Этот болт соединен с катушкой, где имеется резьба, свободный ход которой составляет 12 мм. Между пробкой и катушкой поставлена стальная пружина, которая создает

возможность двигаться катушке как вниз, так и вверх при вращении болта. Вращая болт, перемещаем катушку вдоль направляющей пластины, которая одновременно препятствует повороту катушки вдоль оси. Головка болта вместе с диском также составляет как бы единое целое с поверхностью цилиндра. Полный оборот болта отодвигает нить от поверхности тела на 1 мм. Таким образом, ввинчивая или вывинчивая болт, можно получить необходимое расстояние нити от поверхности тела. Распределение параметров потока по поверхности цилиндра можно снять, поворачивая его вокруг оси.

Как известно, между электрическим сопротивлением чистого металла и его температурой существует линейная зависимость вида

$$R_{\omega} = R_g (1 + \beta t), \quad (1)$$

где  $R_{\omega}$  - сопротивление при температуре  $t$ ,  $R_g$  - сопротивление при  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $\beta$  - температурный коэффициент сопротивления металла (т.е. нити в нашем случае). Значение  $\beta$  - можно определить, проводя тарировку нити по температуре. В наших опытах  $\beta=0,0035$  1/град.

В начале опыта, подавая к нити небольшой ток (не повышающий ее температуру) определялось значение  $R_g$ . Затем по формуле (1) рассчитывалось  $R_{\omega}$ , соответствующе перегреву нити  $\Delta t=150^{\circ}$ . При этом перегреве снималась зависимость силы тока от скорости потока, и строился тарировочный график.

Ввиду загрязнения нити и для обеспечения более точного измерения, градуировка нити производилась перед и после каждого опыта. Отклонение градуировочных кривых друг от друга не превышало при этом 3-4%.

Уравнение тарировочной кривой можно записать в следующем виде [1].

$$\frac{I^2 R_{\omega}}{R_{\omega} - R_g} = A + B \sqrt{U}, \quad (2)$$

Из формулы (2) можно найти турбулентную пульсацию скорости. При методе постоянного тока пульсируют скорость и сопротивление, т.е.

$$U = \bar{U} + u \text{ и } R_{\omega} = \bar{R}_{\omega} + r_{\omega},$$

где  $u$  и  $r_{\omega}$ , пульсирующие значения скорости и сопротивления. Дифференцируя уравнение (2) по  $U$  и  $R_{\omega}$  получим

$$\frac{U}{\bar{U}} = \frac{2\bar{R}_{\omega}}{(\bar{R}_{\omega} - R_g)^2} \cdot \frac{I^2 r}{\sqrt{\bar{U}}}$$

Учитывая, что произведение  $I \cdot r_{\omega} = e$  есть пульсация напряжения на концах нити, имеем

$$\frac{U}{\bar{U}} = \frac{2\bar{R}_{\omega}}{(\bar{R}_{\omega} - R_g)^2} \cdot \frac{Ie}{\sqrt{\bar{U}}}$$

Для серии измерений

$$\frac{2\bar{R}_{\omega}}{(\bar{R}_{\omega} - R_g)^2} = const = C$$

Тогда

$$\frac{U}{\bar{U}} = \frac{Ie}{\sqrt{\bar{U}}} \quad (3)$$

Ряд последних измерений (при изучении следа) был получен методом постоянного сопротивления, который имеет преимущество перед методом постоянного тока в отношении точности измерения. В этом методе пульсируют ток и скорость, т.е.

$I = \bar{I} + i$  и  $U = \bar{U} + u$  тогда произведя дифференцирование уравнения (2) по  $I$  и  $U$  получаем

$$\frac{U}{\bar{U}} = \frac{1}{(\bar{R} - R_g)^2} \cdot \frac{4Ie}{\sqrt{\bar{U}}}$$

где  $e = i \cdot R_{\omega}$ . Для серии опытов, считая

$$\frac{4}{(\bar{R} - R_g)^2} = const = C',$$

имеем

$$\frac{U}{\bar{U}} = -C' \cdot \sqrt{\bar{U}} \quad (4)$$

По значениям  $I$ ,  $e$  (измеренным, непосредственно) и  $\bar{U}$  (найденному из

тарировочного графика), с помощью формул (3) и (4) определялись величины относительной интенсивности турбулентных пульсаций скорости.

Распределение кинетической энергии турбулентности по частотам (энергетический спектр) снималось с помощью многоканального частотного анализатора совместно с аппаратурой ЭТАМ-3 и ЭТА-5А. Выходные сигналы от анализатора подавались к осциллографу, откуда производилось фотографирование спектров частот.

Спектрограммы получаются в координатах  $\sqrt{F(\omega)}$  и  $\omega$  (где  $\omega$  - частота). Спектры изображались в одном масштабе, поэтому изменению интенсивности турбулентности полностью соответствовало изменение спектральной плотности напряжения  $K\sqrt{\omega}$ .

Отсюда определялась и средняя частота продольных пульсаций скорости.

Для измерения распределения средней скорости, по поверхности тела был сделан цилиндр. Вместо медных стержней вставлялись две трубки с наружным и внутренним диаметрами 1,0 и 0,3 мм. Концы трубок загибались в противоположные стороны (по направлению потока и навстречу ему) так, что отверстия их располагались на одной образующей, параллельной оси цилиндра. Другие концы трубок соединялись к одному микроманометру, в результате этого измерения производились по принципу Т-образной трубки Пито. Опыты показали удобность такого метода особенно для измерения в кормовой, области тела.

В турбулентном следе за телом снималось распределение скорости, интенсивности турбулентности и давления по сечениям канала, измерения по разным сечениям канала производились путем

перемещения цилиндра диаметром 58 мм вдоль оси канала относительно измерительной трубки. Для измерения скорости и давления также применялась Т-образная трубка Пито, отверстия которой повернуты друг к другу на  $180^\circ$  и находились в плоскости, перпендикулярной оси канала. Такая трубка позволяет измерять статическое и динамическое давления на оси следа с достаточной точностью, несмотря на изменения статического давления и направление скорости потока. Подобная трубка применялась также при измерении скорости в следе за телом вдоль оси канала и при определении длины циркуляционной зоны. Перемещение трубки осуществлялось координатником, поставленным у выхода канала. Длиной зоны считалось, то место, где разность показаний труб равнялась нулю, т.е. где продольная составляющая набегающей скорости вдоль оси равна нулю. Несмотря на большие пульсации давления в следе, которая затрудняла точное определение длины зоны, данный метод оказался достаточно точным. Результаты, многократных независимых измерений длины циркуляционной зоны в следе дают одно и то же.

Распределение интенсивности турбулентности в следе снималось термоанемометром [2].

По полученным данным определялась длина циркуляционной зоны, точка отрыва пограничного слоя и др.

### Список литературы

1. Хинце И.О. Турбулентность (пер.с. англ.), Госиздательство физ-мат. М., 1963.
2. Горлин С.М., Слезинтор И.И., Аэромеханические измерения. Издательство «Наука», М., 1964.

**М.С. Исатаев, Г.О.Ильясова** Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби  
Казахстан, г. Алматы

[gulzhan.o.i@mail.ru](mailto:gulzhan.o.i@mail.ru)

### **ИЗМЕРЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ КРУГЛОГО ЦИЛИНДРА**

**Аннотация:** В представленной статье исследование влияния загромождения потока на аэродинамику течения и изучения картины течения вблизи поверхности круглого цилиндра

**Ключевые слова:** круглый цилиндр, трубки Пито, турбулентное движение, след турбулентности, интенсивность турбулентности.

**М.С. Исатаев, Г.О. Ильясова**  
Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті  
[gulzhan.o.i@mail.ru](mailto:gulzhan.o.i@mail.ru)

### **АҒЫННЫҢ ШЕҢБЕРЛІ ЦИЛИНДРДІ ОРАЙ АҒУ КЕЗІНДЕГІ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРДІ ӨЛШЕУ**

**Аннотация:** Бұл мақалада ағының аэродинамикасына ағынды бөгеудің ықпалын зерттеу мен шеңберлі цилиндрдің беткейіне жақын ағын жердегі бейнені зерттеу.

**Маңызды сөздер:** шеңберлі цилиндр, Пито трубкасы, турбуленттік қозғалыс, турбулентті із, турбуленттік интенсивтілік.

**M. Isatayev, G. Yliyasova**  
Kazakh National University after named Al-Farabi, Kazakhstan, Almaty  
[gulzhan.o.i@mail.ru](mailto:gulzhan.o.i@mail.ru)

### **MEASUREMENT OF AERODYNAMIC FLOW PARAMETERS IN A TRANSVERSE FLOW OF A CIRCULAR CYLINDER**

**Abstract:** In the article the study of the influence of flow blockage in the flow aerodynamics and study the flow pattern near the surface of a circular cylinder

**Keywords:** circular cylinder , pitot tubes , turbulent motion , trail turbulence , turbulence intensity.