УДК 621.928.37

С. И. Валеев, Д. Ю. Верин, В. А. Булкин

ВЫБОР МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЕЙ СКОРОСТЕЙ И ДАВЛЕНИЯ ГИДРОЦИКЛОНА

Ключевые слова: гидродинамика, гидроциклон, давление, скорость.

Описаны методы экспериментального исследования гидродинамики гидроциклонов. Показаны достоинства и недостатки этих методов.

Key words: hydrodynamics, hydrocyclone, pressure, speed.

Several methods described in article, they are experimental research methods of hydrodynamics in hydrocyclone. Advantages and disadvantages of these methods are shown in article.

Основное внимание в исследованиях и оценке характеристики аппаратов уделяется экспериментальным методам, так как теория многофазных систем сложна и еще не достаточно разработана.

Экспериментальные исследования гидродинамики гидроциклона [1, 8÷11] предусматривают измерение полей давления и скоростей рассматриваемых течений |[1÷4]. В настоящее время имеется целый ряд экспериментальных методов измерения: контактные или зондовые (трубки Пито-Прандтля, шаровые многоканальные зонды, гидромеханические вертушки и др.), беззондовые (оптический, стробоскопический, электродиффузионный и др.). Выбор конкретного метода измерения определяется видом течения, размерами исследуемого аппарата, требуемой точностью проведения экспериментов и |рядом других факторов. Введение непосредственно в поток зондов может в некоторых случаях существенно исказить исходную картину течения, чего практически не бывает при использовании беззондовых методов.

Беззондовые методы измерения дают более высокую точность измерения, однако метод непосредственного зондирования намного проще и дешевле, но требует больше времени. Из многочисленных зондов наименьшую погрешность измерения дает поперечно натянутая капиллярная трубка со специальными приемными отверстиями [4÷7]. Во избежание существенных погрешностей измерения и искажений потока следует обеспечить требование, согласно которому «коэффициент загромождения потока» не должен превышать 5 %. Под этим коэффициентом понимается отношение площади полного миделевого сечения зонда к площади поперечного сечения канала в плоскости установки зонда. В случае измерения закрученных потоков использование поперечно натянутых зондов оправдано еще и потому, что в них радиальная компонента скорости V_r, которую поперечно натянутый зонд не позволяет измерять, пренебрежимо малы по сравнению с другими составляющими вектора скорости (тангенциальной). Поэтому погрешности измерения в этом случае будут минимальными. В данном случае [7] величина погрешности измерения определяется, как правило, ценой деления микроманометра и не превышает 2.6 %.

Учитывая всё вышеперечисленное, для проведения экспериментальных исследований, был использован такой тип зондов цилиндрический пневмометрический насадок [5, 6,7, 10] рисунок 1.

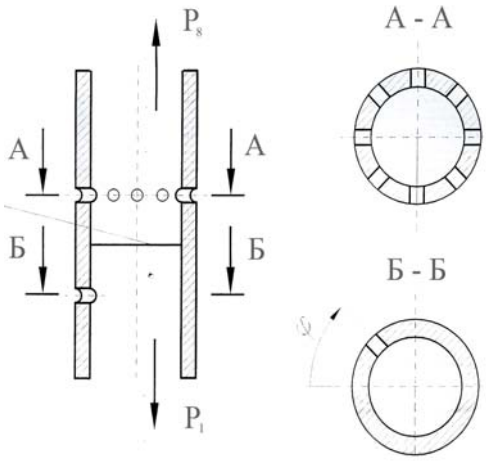

Рис. 1

С помощью этого насадка можно измерять осредненную скорость и осредненное направление потока. Насадок представляет собою тонкую длинную трубку с наружным диаметром более 1 мм. Внутренняя полость трубки разделена перегородкой 1 на две части. По одну сторону перегородки, на расстоянии 1 мм от нее, равномерно по кругу в трубке имеются восемь отверстий 0.23 мм, по другую сторону - одно отверстие. Такая трубка, длинная и тонкая, как струна, устанавливается обычно поперек потока таким образом, чтобы вектор скорости был приблизительно ортогонален ее оси. Перемещая трубку вдоль оси, можно измерять поперечный профиль скорости как в зоне прямого, так и обратного тока.

Сущность метода измерения состоит в следующем. В процессе предварительной градуировки пневмометрического насадка определяют угол $\varphi_{ст}$, при котором давление p_1 отбираемое от одиночного отверстия, равно статическому давлению $p_{ст}$. в измеряемом сечении. Для нашего случая $p_1=p_8$ при $\varphi_{ст}=41.5°$. При измерении выходные трубки насадка подсоединяют к дифференциальному манометру для регистрации разности давлений (p_1-p_8), где p_8 - давление в полости с восемью отверстиями. Вели-

чина давления p_8 при всех значениях угла φ постоянна. Вращая насадок вокруг своей оси, находят два положения насадка $\pm\varphi_1$, при которых перепад давлений (p_1-p_8) одинаков. В этом случае при $\varphi_0=0$ ось одиночного отверстия совпадает с направлением вектора осредненной скорости потока. Далее измеряют перепады давлений $\Delta p_п=p_1-p_8$ при $\varphi_0=0$ и $\Delta p_{ст}=p_1-p_8$ при $\varphi_0=\varphi_{ст}$

По измеренным значениям $\Delta p_п$ и $\Delta p_{ст}$ определяют скоростной напор $\Delta p= \Delta p_п-\Delta p_{ст}$ и с использованием уравнения Бернулли $\Delta p=\rho V^2/2$ вычисляют осредненную скорость потока υ. Статическое давление определяется по формуле $p_{ст}=p_8+\Delta p_{ст}$.

Тангенциальная составляющая скорости движения жидкости определяется проекцией вектора осредненной скорости на поверхность, перпендикулярную оси гидроциклона:

$$V\varphi=\upsilon\cdot\sin(\alpha) \qquad (1)$$

В гидроциклоне трубка датчика располагается в плоскости, перпендикулярной оси канала. Для тарировки датчика в этой же плоскости в стенке измерительной вставки имелось отверстие для отбора статического давления. Радиальное и угловое перемещение приемника осуществлялось с помощью специально изготовленного координатного устройства, обеспечивающего задание линейных координат с точностью ±0,05 мм и угловых координат с точностью ±2,5°.

Перед проведением экспериментов проводилась тарировка измерительного зонда. Для этой цели зонд совместно с координатным устройством

устанавливается на расстоянии 6 калибров от входа в калибровочную трубу. Жидкость подается по оси калибровочной трубы. Этим добиваются того, что в сечении, в котором находится зонд, течение жидкости было установившимся, незакрученным и симметричным относительно оси канала. Поперечно натянутый зонд вращается вокруг своей оси. Через определенное изменение угла снимаются показания манометра, показывающее давление зонда. Также определяется статическое давление, снимаемое со стенки канала. Такие измерения проводятся при пяти различных расходах жидкости.

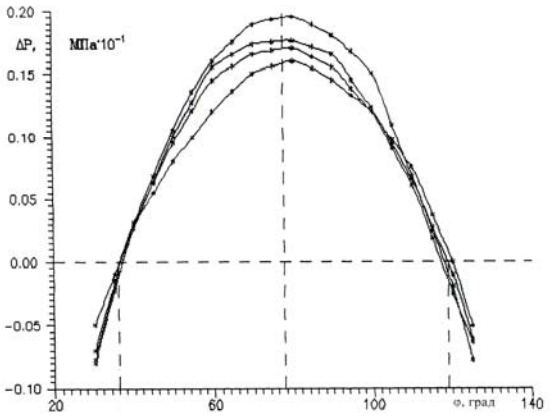

Рис. 2

Графики зависимости перепада давления Δp от угла поворота зонда φ относительно оси канала, полученные при четырех различных режимах, показаны на рис. 2. Анализ графика позволяет сделать следующие выводы: при повороте координатного устройства на ф=77.5° величина показаний зонда максимальная, что соответствует полному давлению в лобовой точке измерительного зонда ($p_п$).

Литература

1. Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. М.: Наука, 1994.
2. Баранов Д.А. Принцип расчёта и конструирования гидроциклонов для разделения эмульсий: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук. М., 1996.
3. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. - М.: Мир, 1987 - 588 с.
4. Сабгиев И.Р. Выделение газа из закрученного потока в приосевой парогазовый шнур: Дис. ... канд. техн. наук. Казань, 1995.
5. Алемасов В.Е., Глебов Г.А., Козлов В.А. Термоанемометрические методы исследования отрывных течений. Казань. Казанский филиал АН СССР.1990.178 с.
6. Смульский И.И. Аэродинамика и процессы в вихревых камерах. Новосибирск, ВО "Наука", Сибирская издательская фирма, 1992.
7. Смульский И.И. Об особенностях измерения скорости и давления в вихревой камере // Теплофизика и физическая гидродинамика. Новосибирск: ИТФ СО АН СССР. 1978. С.125-132.
8. Найденко В.В. Применение гидроциклонов в технологических процессах очистки природных и сточных вод // Исследование и промышленное применение гидроциклонов. Горький. 1981. 180 с.
9. Мустафаев А.М., Гутман Б.М. Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности. М.:Недра, 1981, 260 с.
10. Валеев С.И. Очистка сточных вод в гидроциклонах систем оборотного водоснабжения: Дис…..канд.техн.наук. Казань.2000.
11. Валеев С.И., Степанов Н.И., Иванов Н.В., Булкин В.А. Гидродинамика цилиндрических и цилиндроконических гидроциклонов с малым расходом через верхний слив // Вестник Казанского технологического университета. 1998. № 2, с.56-59.
12. Верин Д.Ю., Валеев С.И., Булкин В.А. Гидродинамика цилиндроконического гидроциклона для разделения эмульсий с учетом эффективной вязкости // Вестник Казанского Технологического Университета. 2012. Т.15 №15, с. 117-118.

© **С. И. Валеев** – к.т.н., доц. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, vsi73@mail.ru; **Д. Ю. Верин –** инж. той же кафедры, dmitry-verin90@mail.ru; **В. А. Булкин** – д.т.н., проф. той же кафедры, bulkin_v_a@mail.ru.