

УДК 532.527, 532.525.2

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЗАКРУЧЕННОЙ ОСЕВОЙ СТРУИ С ПОТОКОМ В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ

Д.Г. АХМЕТОВ, В.В. НИКУЛИН

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск*

Проведены экспериментальные наблюдения взаимодействия потока в вихревой камере с незакрученной осевой струей. Закрученный поток в камере формируется путем тангенциальной подачи жидкости. Струя в поток вводится через небольшое отверстие в центре заглушенного торца камеры. Наблюдения выявили качественную структуру течения в камере. Показано, что на небольшом расстоянии от дна камеры струя распадается и за точкой распада возникает циркуляционная зона с возвратным осевым течением.

Взаимодействие азимутального осевого движения жидкости в закрученных потоках является сложной и недостаточно изученной задачей. Проявления закрученных потоков в природе и технических устройствах часты и многообразны. Поэтому таким течениям посвящено большое число исследований [1 – 3]. В настоящей работе представлены результаты визуализации взаимодействия потока в вихревой камере с незакрученной осевой струей.

Используемая вихревая камера представляет собой полый цилиндр, один торец которого закрыт плоской крышкой. Внутренний диаметр камеры равен 28 мм. Выход жидкости из камеры осуществляется либо через сужающийся конический насадок, либо через диафрагму с центральным отверстием. В первом случае длина цилиндрического участка камеры составляет 70 мм, а длина конического насадка — 100 мм, во втором — длина цилиндрической камеры равна 125 мм. Диаметр выходного отверстия в обоих случаях равен 14 мм. Закрученный поток в камере формируется путем тангенциальной подачи жидкости через щель с поперечным сечением 4×5 мм на цилиндрическом участке камеры вблизи ее закрытого торца. Осевая струя в поток вводится через отверстие диаметром 1,2 мм в центре закрытого торца камеры. Все эксперименты проводились в воде. Течение в камере визуализировалось краской, а также с помощью твердых сферических частиц с плотностью, близкой к плотности воды, или мелких воздушных пузырьков, вводимых в осевую струю. Наблюдения выявили качественную структуру течения в камере.

В основной серии опытов изучалось влияние интенсивности осевой струи на течение в вихревой камере с коническим насадком при фиксированном значении тангенциального расхода жидкости Q_0 . При всех значениях расхода струи визуализируется преимущественно приосевая область течения (вплоть до выхода из камеры), имеющая форму, близкую к цилиндрической (рис. 1). Эту область можно рассматривать как ядро вихря.

На рис. 2 представлены фотографии осевой струи и ядра вихря вблизи дна камеры. Тангенциальный расход Q_0 во всех случаях был одинаков и со-

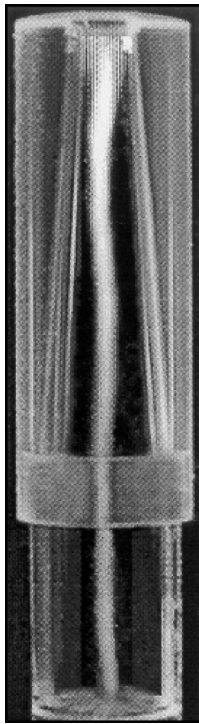


Рис. 1. Фотография ядра вихря в вихревой камере.

ставлял примерно $14 \text{ см}^3/\text{с}$. Из представленных снимков следует, что осевая струя имеет практически постоянное сечение на начальном участке. Затем на небольшом расстоянии от дна камеры ее диаметр резко увеличивается. Такое скачкообразное изменение диаметра струи внешне похоже на гидравлический прыжок, или так называемый распад вихря [4, 5]. Перед распадом струя изгибается, как бы наталкиваясь на препятствие, после чего ее диаметр начинает резко возрастать (см. рис. 2, *a, b*). Из наблюдений за траекториями взвешенных в потоке частиц установлено, что в приосевой области камеры после распада струи существует возвратное течение. Об этом свидетельствует и рис. 2, *b*: жидкость из струи после попадания в ядро вихря закрашивает зону течения, которая находится к торцу ближе, чем видимый конец струи.

С увеличением скорости осевой струи расстояние до точки распада струи возрастает примерно от 1,5 до 5 мм, а диаметр ядра увеличивается. При этом в области непосредственно после распада струи ядро вихря становится толще, чем в основной части камеры (см. рис. 2, *d*). Эта ситуация похожа на картину утолщения низкотемпературного плазменного шнура [1] или нагретой осевой газовой струи [3] в вихревой камере при некоторых условиях. Необходимо отметить, что в настоящих опытах уменьшение диаметра ядра после его утолщения происходит в отсутствие массовых сил, поскольку плотность жидкости во всей области течения постоянна, т. е. явление обусловлено чисто гидродинамическими эффектами. Из наблюдений за движением визуализирующих течение твердых частиц и пузырьков воздуха следует, что за точкой распада струи в ядре вихря возникает циркуляционная зона с меридиональным течением, в котором скорость вдоль оси камеры направлена навстречу струе и общему потоку в камере. Установлено, что размеры циркуляционной зоны и особенно ее длина возрастают с увеличением расхода в осевой струе. Например, при $Q_0 17 \text{ см}^3/\text{с}$ длина осевой циркуляционной зоны изменялась от $\sim 30 \text{ мм}$ при $Q_1 = 0,7 \text{ см}^3/\text{с}$ до $\sim 80 \text{ мм}$ при $Q_1 = 1,6 \text{ см}^3/\text{с}$. В случае $Q_1 < 0,7 \text{ см}^3/\text{с}$

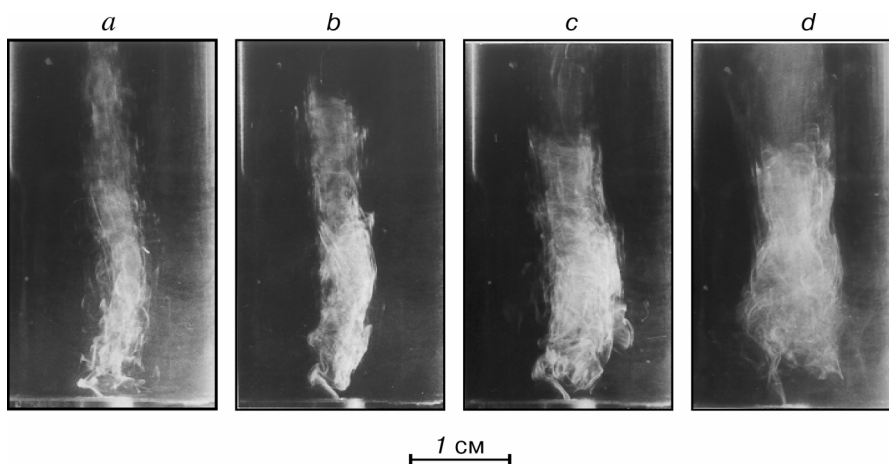


Рис. 2. Фотографии осевой струи и ядра вихря вблизи закрытого торца вихревой камеры. $Q_1 < 0,06$ (*a*), $0,07$ (*b*), $0,15$ (*c*), $0,25 \text{ см}^3/\text{с}$ (*d*).

Рис. 3. Схема локализации зон циркуляционных течений в меридиональном сечении камеры.

твердые частицы не захватывались в осевую циркуляционную зону, поэтому структура течения визуализировалась пузырьками воздуха. По движению пузырьков можно было судить, что длина циркуляционной зоны составляет менее 10 мм, а при $Q_1 < 0,1 \text{ см}^3/\text{с}$ ее длина сокращается до размера порядка диаметра вихря, т. е. до $\sim 5 \text{ мм}$.

Практически во всех опытах наблюдалось возникновение второй зоны циркуляционного меридионального течения кольцевой формы вне ядра вихря, в которой течение направлено к дну камеры. В то же время непосредственно вблизи боковой стенки камеры осевая компонента скорости направлена по всей длине камеры к выходному отверстию. Отметим, что размеры циркуляционных зон и их положение в пространстве не были строго фиксированными, а изменялись со временем. Однако эти изменения происходили относительно некоторых средних значений. Течение не было вращательно-симметричным (по крайней мере до распада осевой струи, что видно из рис. 2). Указанную структуру потоков можно представить в виде осредненной по многим наблюдениям схемы локализации зон циркуляционных течений и направлений движения жидкости в меридиональном сечении вихревой камеры (рис. 3). Заметим, что рис. 3 не является картиной линий тока, и поэтому из него не следует делать вывод, что мгновенная структура потока осесимметрична и стационарна. Об универсальном характере возникновения кольцевой циркуляционной зоны вне ядра вихря в вихревых камерах свидетельствуют результаты измерений распределения осевой компоненты скорости по радиусу камеры в работах [2, 3], в которых получено, что вне ядра вихря существует зона, где течение направлено ко дну камеры.

При больших значениях расхода осевой струи визуализирующая краска, вводимая в струю, уже не полностью сосредотачивается в струе и в ядре вихря, а размывается на все сечение камеры. Подобная картина наблюдалась и в [2, 3]. Серия опытов, проведенных в цилиндрической вихревой камере, показала, что в качественном плане наблюдаются те же явления, что и в камере с коническим насадком. Однако в последней они проявляются более ярко.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 99-01-00597).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков М.Ф., Анышаков А.С., Засыпкин И.М. и др. Электродуговые генераторы с межэлектродными вставками. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. — 322 с.
2. Добринский Э.К., Урюков Б.А., Фридберг А.Э. Исследование стабилизации плазменной струи газовым вихрем // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. — 1979. — № 8, вып. 2. — С. 42 – 49.
3. Волчков Э.П., Терехов В.И., Ткач Ю.Н. Экспериментальное исследование смещения приосевой струи с периферийным потоком в вихревой камере. — Новосибирск, 1985. — 42 с. (Препр. // ИТ СО АН СССР; № 124-85).
4. Sarpkaya T. On the stationary and travelling vortex breakdowns // J. Fluid Mech. — 1971. — Vol. 45, No. 3. — P. 545 – 559.
5. Escudier M.P., Zender N. Vortex-flow regimes // J. Fluid Mech. — 1982. — Vol. 115. — P. 105 – 121.

Статья поступила в редакцию 25 марта 1999 г.