

ДРЕЙФ ВОЗДУШНОГО ПУЗЫРЬКА В ВИХРЕВОЙ ДОРОЖКЕ

Ю.А. ЛАПТЕВА, К.А. РЫБКИН

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614000, Пермь, Букирева,15

Последние десятилетия отмечены резким повышением интереса физиков к проблемам взаимосвязи теории нелинейных диссипативных структур и турбулентности [1]. Исследование процессов, протекающих в открытых системах при больших отклонениях от равновесия, показало, что в таких системах могут возникать сложные хаотические режимы, несмотря на детерминированные начальные граничные условия. В работе экспериментально рассматривается одна из подобных задач – задача о дрейфе воздушного пузырька в жидкости.

Очевидно, что при малых числах Рейнольдса траектория всплывающего в жидкости пузырька будет прямой вертикальной линией, при переходе через критическую точку Re^* спонтанно возникающие вихри, срывающиеся с критических точек поверхности пузырька, сообщают последнему толчки различной мощности и направления. В результате его движение начинает напоминать беспорядочное движение Броуновской частицы [2].

В экспериментах изучалось свободный дрейф пузырька воздуха в стеклянной кювете $100 \times 25 \times 25$ см³, заполненной водой. Для наблюдения пузырей одновременно в двух плоскостях xz , и yz лабораторной системы координат, связанной с кюветой, сбоку от неё было установлено зеркало под углом в 45° к вертикальной плоскости yz (Рис.1). Процессы дрейфа пузырьков фиксировались на скоростную видеокамеру.

После обработки фотокадров в программе Photoshop и наложения всех изображений на один кадр, получилась следующая траектория движения пузырька в жидкости (Рис.2). Для сравнения отклонений траектории движения пузырька, сделано 5 одинаковых экспериментов, после чего траектории были наложены друг на друга (Рис. 3).

На рисунках наблюдается отклонение траектории пузырька от вертикальной оси, что связано с появлением вихрей срывающихся с поверхности пузырька [3]. В дальнейшем для визуализации вихрей и численного расчета применялся метод PIV, вследствие чего, лабораторная установка видоизменилась (Рис.4). Измерение мгновенного поля скорости потока в заданном сечении основано на измерении перемещения частиц примеси, находящихся в плоскости сечения, за фиксированный интервал времени. В жидкость добавляются частицы малого размера (трассеры). Импульсный лазер создает тонкий световой нож и освещает мелкие частицы. По-

ложения частиц в момент двух последовательных вспышек лазера регистрируются на два кадра цифровой камеры (Рис.4), после чего выбранные фотокадры обрабатывались с помощью программы Davis[4].



Рис.1. Экспериментальная установка



Рис.2. Траектория всплывающего пузыря

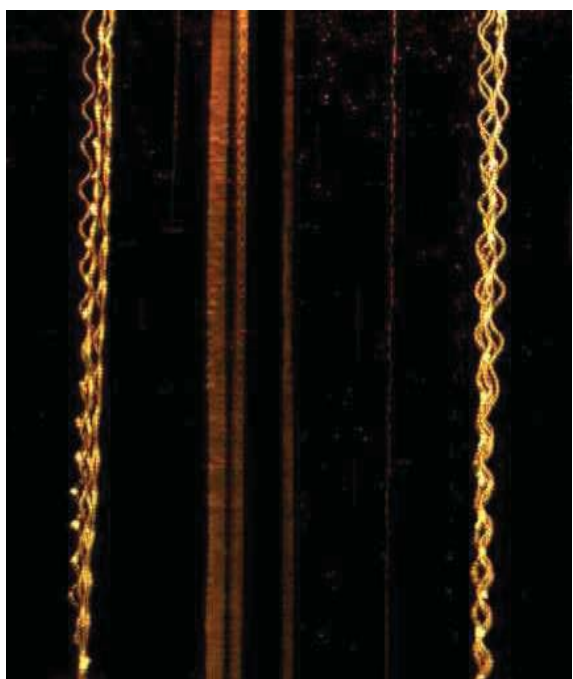


Рис.3. Объединение траекторий 5 всплывающих пузырей



Рис.4. Экспериментальная установка для обработки результатов методом PIV

На дне кюветы была установлена калиброванная трубка, соединенная с компрессором, с помощью которого удавалось выпускать пузырьки с одинаковым временным интервалом $\Delta t = 0.6$ с, организованная вихревая дорожка снималась на цифровую камеру. Область съемки составляла 200×160 мм². Таким образом получались пары изображений, на одном из которых зафиксированы частицы в момент первой вспышки, а на другом в момент второй вспышки лазера. Сравнив положения отраженных частиц на первом и втором кадре, фиксировалось их перемещение. Зная временную задержку между вспышками лазера Δt и рассчитав наиболее вероятное перемещение частиц D в данной элементарной области можно посчитать скорость:

$$V = D S / \Delta t,$$

где S - масштабный коэффициент для пересчета скорости в м/сек. Посчитав перемещение и скорость отдельных частиц, можно рассчитать поле скорости течения.

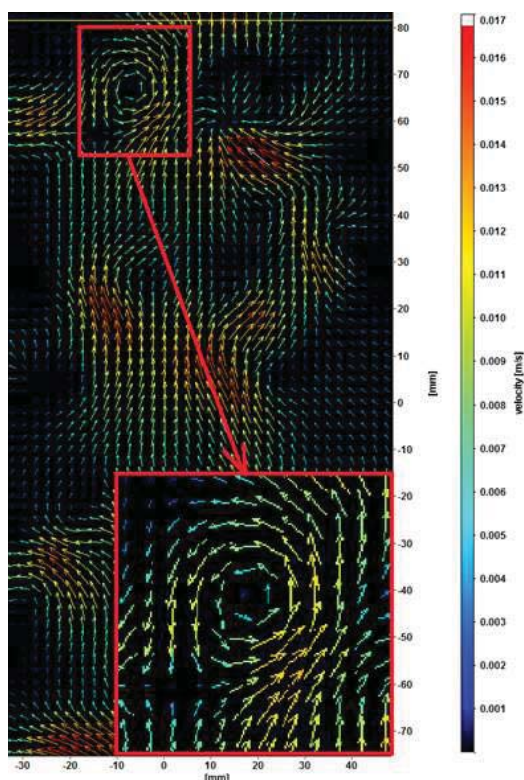


Рис.5. Поле скоростей в турбулентной дорожке.

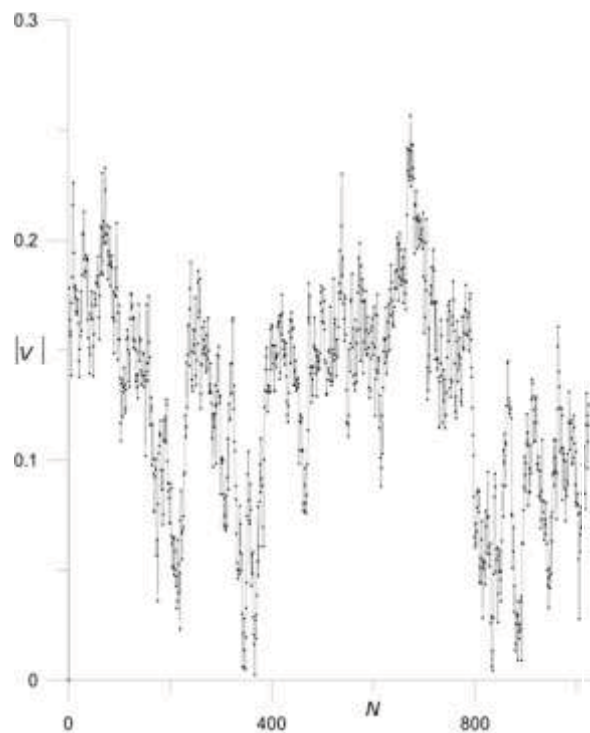


Рис.6. График зависимости средней скорости от номера кадра

На рис.5. изображено поле скоростей, выделенный участок показывает возникновение вихрей, следующих за пузырьком. Расчет показал, что средняя скорость движения частиц $|V| = 10$ мм/с, максимальная скорость

достигала $V_{max} = 18$ мм/с. В выделенной области минимальная скорость $V_{min} = 2$ мм/с, максимальная скорость $V_{max} = 11.5$ мм/с.

На рис. 6 изображен график зависимости средней скорости движения частиц от номера кадра. Судя по виду графика никаких зависимостей выделить нельзя, это связано с невозможностью проследить динамику процесса, так как съемка происходила с использованием импульсного лазера.

Исходя, из проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Обнаружены вихри, срывающиеся с поверхности движущихся пузырьков.
2. Метод PIV дал возможность определить скорость движения частиц в вихревой дорожке, но проследить динамику вихрей в данном эксперименте оказалось невозможно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинович М.И., Суцук М.М. Регулярная и хаотическая динамика структур в течениях жидкости//УФН. 1990. Т.160, №1. С.1–64.
2. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б., Стрелкова Г.И., Шиманский-Гайер Л. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. Москва-Ижевск: Институт комп. иссл., 2003. 535 с.
3. Рыбкин К.А., Лаптева Ю.А. Физика для Пермского края// 2012. №5. С.16–20.
4. Руководство пользователя программы «ActualFlow» Версия 1.16. Новосибирск. 2007. С.11–54