

УДК 536.25

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СДВИГОВЫХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ТЕЧЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ ВИХРЕВЫХ КОЛЕЦ

О. Д. НИКИШОВА, В. И. НИКИШОВ, В. В. ОЛЕКСЮК

Институт гидромеханики НАН Украины, Киев

Получено 05.07.2000

Приведены результаты экспериментальных исследований трансформации вихревых структур (вихревых колец) в ламинарном сдвиговом стратифицированном потоке жидкости. Показано, что стратификация приводит к уменьшению высоты подъема кольца при эжекции кольца вертикально вверх поперек потока. Установлено, что поведение колец в сдвиговом потоке резко отличается от поведения тех же колец в неподвижной жидкости. Обнаружено, что две уединенные волны, которые движутся вдоль ядра кольца навстречу друг другу, возникают под влиянием сдвига. Это приводит к разбросу траекторий колец.

Приведено результати експериментальних досліджень трансформації вихрових структур (вихрових кілець) у ламінарному зсувному стратифікованому потоці рідини. Виявлено, що стратифікація приводить до зменшення висоти підйому кільця, коли кільце ежектується вертикально вгору впоперек до потоку стратифікованої рідини. Також встановлено, що поведінка кілець у зсувному потоці різко відмінна від поведінки тих же кілець у нерухомій рідині – у ядрі кільця створюються дві відокремлені хвилі, які рухаються назустріч одна одній. Це приводить до того, що траєкторії кілець мають розходження.

The results of the experimental investigations of the vortical structure (vortical ring) transformation in laminar shear stratified flow are presented. It is shown that the stratification action causes the decrease of the height of vortex ring lift when the ejection is executed in vertical direction across flow. It is found that the behaviour of vortex rings in shear flow substantially differ from the behaviour of the vortex rings in stationary fluid. It is demonstrated that two solitary waves traveling along the ring core are arisen. This leads to the scattering of the ring trajectories.

ВВЕДЕНИЕ

Движение вихревых колец является характерным движением жидкости с концентрированной завихренностью. Поведение вихревых колец описано в обзоре [1]. В природе сдвиговые течения или силы плавучести, вызванные стратификацией, влияют на поведение вихревых колец. Время жизни вихревых колец ограничено этими эффектами. Влияние вязкости и турбулентности должно быть также принято во внимание в реальных жидкостях.

Среди экспериментальных работ привлекают внимание эксперименты, описанные в [2], в которых исследовалось совместное влияние сдвига и стратификации на вихревой паре. Было найдено, что присутствие сдвига приводит к резкому изменению в развитии вихревой пары. Вихрь с вращением, противоположным к среднему сдвигу, вырождается, в то время как вихрь с тем же вращением, что и средний сдвиг, выживает. Этот одиночный вихрь затем медленно затухает со временем.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СДВИГА СКОРОСТИ И СТРАТИФИКАЦИИ ПОТОКА НА ВИХРЕВЫЕ КОЛЬЦА

Эксперименты по изучению поведения вихревых колец в стратифицированном сдвиговом потоке проводились в гидродинамическом канале Института гидромеханики НАН Украины. Ширина канала составляет 33 см. Распределение температуры в потоке регистрировалось измерителем температуры, созданным в Институте гидромеханики НАН Украины. Его чувствительным элементом служил термистор типа МТ – 54, диаметр головки которого составлял 0.8 мм. Сдвиг создавался системой сеток с малым размером ячеек.

Вихревые кольца генерировались путем эжекции заданного объема жидкости через вертикальную трубку-сопло. Импульсная эжекция проводилась путем открывания и закрывания подающей трубки специальным электромагнитным клапаном. Управление клапаном осуществлялось с помощью инфранизкочастотного генератора периодических колебаний и генератора импульсов. Это давало возможность регулировать продолжитель-

ность импульса эжекции τ и длительность интервала между эжекциями.

В опытах наблюдалось, что вихревые кольца имеют некруговую форму, что связано с неустойчивостью колец. Некруговая форма колец наблюдалась как в неподвижной, так и в движущейся жидкости. Начальная неустойчивость характеризовалась пятью волнами.

В экспериментах наблюдался также наклон вихревых колец. Ось кольца разворачивалась в направлении вниз по потоку. Наклон был сильнее выражен для колец с малой интенсивностью, точнее на последней стадии развития. Причина наклона связана с эффектом Магнуса и влиянием вязкости [3, 4].

Поведение колец существенным образом изменяется под воздействием сдвига. Вначале начальная неустойчивость, которая характеризуется пятью волнами, возникает как и в бессдвиговом случае. После линейной стадии на ядре наблюдаются локальные утолщения, которые перемещаются вдоль ядра. Эти колебания связаны с длинноволновой неустойчивостью вихревого кольца, одним из проявлений которой является бочкообразная мода колебаний [5]. Существенно, что на последних стадиях развития остаются только две волны, которые имеют вид уединенных волн. Когда кольцо покидает область сдвига, движение волн замедляется. Отметим, что локальное утолщение ядра происходит, когда кольцо проходит сквозь область сдвига. Это связано с двумя основными причинами. Во-первых, когда кольцо поднимается вверх, в каждый момент времени оно входит в область с новым значением скорости и не имеет возможности быстро адаптироваться к новым условиям. Влияние сдвига приводит к появлению деформаций (дестабилизирующий фактор), которые являются причиной возникновения уединенных волн и локального утолщения ядра. Кольца не становятся турбулентными, так как число Рейнольдса мало и сильное влияние вязкости предотвращает переход. Во-вторых, сдвиг оказывает влияние на вырождение завихренности в ядре. Когда кольцо движется вверх в потоке с вертикальным градиентом скорости, завихренность части ядра (в данном случае расположенной вниз по потоку) направлена в противоположную сторону к завихренности основного потока и происходит ее вырождение, как и в случае вихревой пары [2]. Завихренность части ядра (расположенной вверх по потоку) имеет то же направление, что и в основном потоке, и ее вырождения не происходит (в случае вихревой пары этот вихрь выживает). Известно, что влия-

ние вязкости на ядро мало и многие теоретические результаты, касающиеся характеристик ядра, были получены на основе концепции идеальной жидкости. Отсюда вытекает, что влияние эффекта сохранения количества вихревых линий приводит к перераспределению интенсивности завихренности. Это является второй причиной появления уединенных волн и возникновения выпуклостей на ядре.



Рис. 1. Вихревое кольцо в сдвиговом потоке

На рис. 1 (вид сверху) представлена фотография вихревого кольца, которое движется в сдвиговом потоке стратифицированной жидкости. Видно, что форма кольца не круговая и имеются явно выраженные выпуклости на ядре.

ВЫВОДЫ

Таким образом, поведение вихревых колец существенно меняется под действием сдвига скорости. Кольцо не может адаптироваться к сдвиговому течению. В этом случае всегда имеют место возмущения, приводящие к возникновению уединенных волн, которые существенным образом влияют на поведение кольца. Было также показано, что влияние стратификации приводит к уменьшению высоты подъема кольца. Это объясняется влиянием силы плавучести.

1. Shariff K. & Leonard A. Vortex rings // *Ann. Rev. of Fluid Dyn.*– 1992.– vol.24.– P. 235-279.
2. Delisi D.P., Robins R.E., Lucas R.D. Initial laboratory observations of the evolution of a vortex pair in a stratified shear flow. // *Phys. Fluids.*– 1991.– vol.3, No.11.– P. 2489-2491.
3. Ting L. & Tung C. Motion and decay of a vortex in a nonuniform stream. // *Phys. Fluids.*– 1965.– vol.8, No. 6.– P. 1039-1051.
4. Chu Ch.-Ch., Wang Ch.-T., Chang Ch.-Ch., Chang R.-Yu, Chang W.-T. Head-on collision of two coaxial vortex rings: experiment and computation // *J. Fluid Mech.*– 1995.– vol. 296, No. 4.– P. 39-71.
5. Копьев В.Ф., Чернышев С.А. Малые возмущения стационарных вихрей. // *Механика жидкости и газа.*– 1991.– М.:Наука.– С. No 5 с.99-109.