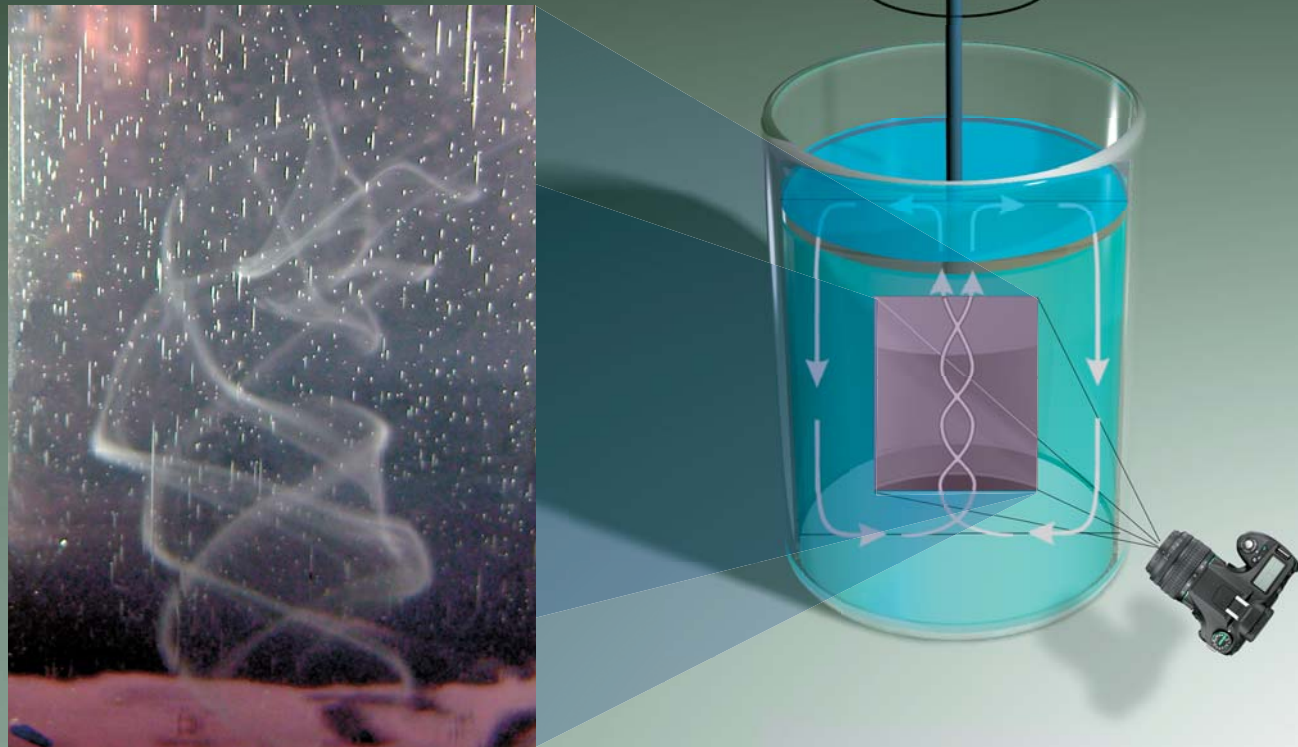


Многоспиральные ВИХРИ



Экспериментальная установка по изучению вихревых мультиплетов представляет собой простейший вихревой генератор. Вращающийся торец организует течение жидкости в полости цилиндра вверх вдоль его оси, затем, после распада осевого вихря, – вниз по спирали до дна. В результате получается замкнутый цикл. Воочию увидеть вихревые структуры можно с помощью растворенного в жидкости красящего вещества. Восходящий приосевой поток жидкости увлекает вверх краситель, находящийся в придонной области. Поскольку частицы красителя движутся вдоль осей вихрей быстрее, можно наблюдать за структурой течения

Исследование поведения равновесных когерентных конфигураций нескольких вихрей (вихревых мультиплетов) ведется в фундаментальных и прикладных целях с XIX в. Сегодня вопрос о структуре подобных образований имеет принципиальное значение как для развития вихревой концепции теории турбулентности, так и для анализа сложных процессов в интенсивно закрученных потоках, возникающих в природе и различных технических устройствах.

Теория точечных вихрей предсказывает существование до семи вихрей в равновесных круговых конфигурациях; ее обобщение на винтовые вихри снижает прогноз до шести.

Однако определить пространственные структуры вращающихся вихревых мультиплетов в реальных условиях очень сложно: до недавнего времени удалось получить экспериментальные данные только о структуре *дуплетов* (двухспиральных или двойных вихрей). Визуализировать более сложные мультиплеты не удавалось. Исключением можно считать трассировку концевых вихрей, сходящих с лопастей вращающейся турбины или пропеллера.

Ключевые слова: винтовой вихрь, распад вихря, мультиспиральный
Key words: helical vortex, vortex breakdown, multihelix

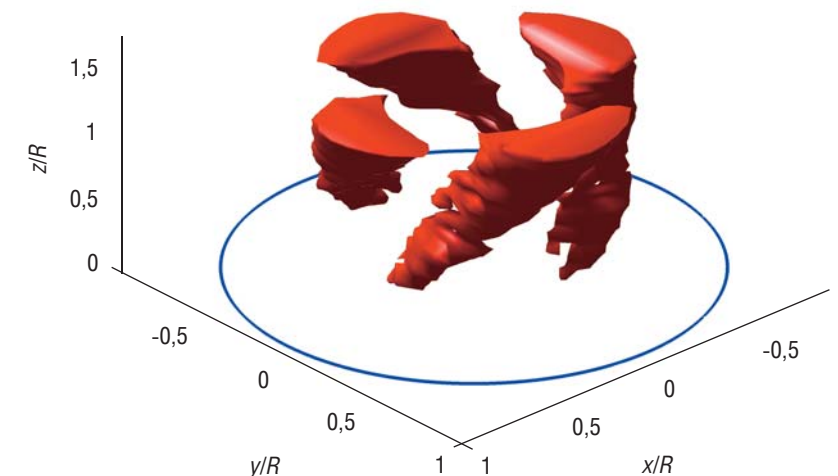
Коллективом ученых из Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН и Технического университета Дании впервые показаны и экспериментально исследованы устойчивые конфигурации самоорганизующихся вихревых мультиплетов в закрученном потоке жидкости, генерируемом в полости цилиндра его вращающимся торцом

Вихревые мультиплеты образуются при распаде одиночного вихря. Поэтому экспериментальное изучение этого процесса важно не только для понимания природы самого явления, но и для исследования различных вихревых конфигураций. Именно таким образом ранее были исследованы вихревые дуплеты.

Визуализировать процесс распада вихря, образующегося в сосуде с жидкостью, можно в условиях лабораторного опыта с помощью красителя. Распад концентрированного вихря характеризуется резким замедлением скорости по его оси,

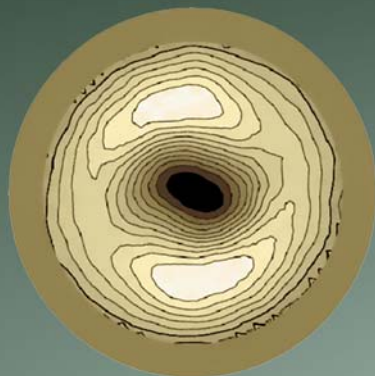
иногда приводящим к образованию зоны обратного течения (*рециркуляции*). Этот процесс можно отследить благодаря захваченному вихрем красящему веществу, которое первоначально распределено строго вдоль вихревой оси.

В рамках совместной работы сибирских и датских ученых была проведена серия экспериментов, направленная на выявление пространственной структуры устойчивых мультиплетных форм распада вихря. В работе были использованы две однотипные экспериментальные установки, представляющие

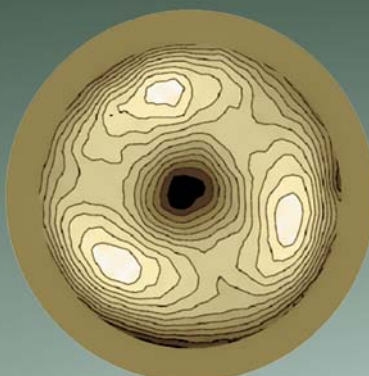


Исследование реконструкции трехмерного поля скорости вихревого мультиплета позволило четко идентифицировать возникающую вихревую структуру. На реконструкции трехмерного поля скорости вихревого квадруплета показана изоповерхность высокой положительной осевой компоненты вектора скорости (R – радиус цилиндра)

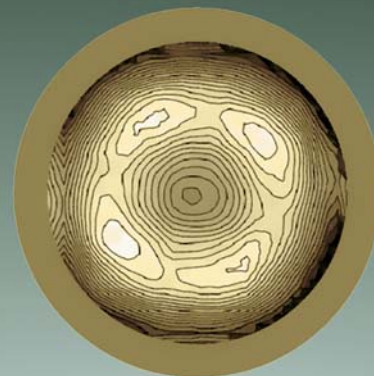
Вихревой дуплет



Вихревой триплет



Вихревой квадруплет



Светлая и темная области соответствуют положительному и отрицательному отклонениям значений завихренности от осесимметричного гауссова распределения

собой круговые цилиндры с вращающимся торцом и отличающиеся только размерами и рабочими жидкостями. Характеристики закрученного потока, получаемого в них при вращении торца, определяются двумя режимными параметрами: отношением высоты цилиндра к радиусу основания и числом Рейнольдса, связанным с угловой скоростью вращения торца и вязкостью рабочей жидкости. В экспериментах были использованы цилиндры с диаметрами 5,6 и 30 см, содержащие дистиллированную воду и 75%-ю водно-глицериновую смесь соответственно.

Прямое сопоставление визуальных картин течения, полученных на обеих установках, позволило установить, что при одинаковых значениях режимных параметров в них реализуются одни и те же режимы распада вихря с устойчиво воспроизводимыми вихревыми мультиплетами. Неслучайный характер полученных визуализаций подтверждается и исследованием трехмерного поля скорости, построенном с помощью стереоскопической системы цифровой трассерной визуализации 3D PIV на режимах получения устойчивых вихревых образований. Это исследование позволило не только определить начало перехода от осесимметричного течения к режиму с равновесно вращающимися мультиплетами, но и четко идентифицировать возникающую вихревую структуру.

С прикладной точки зрения, важность существования такого явления, как распад вихря с образованием вихревых мультиплетов, весьма велика. Оно может стать отправной точкой для описания отдельных режимов работы вихревых установок, создания концепции многоячейного облакообразования в центре интенсивных тропических циклонов, а также моделирования торнадо с мультивихревой структурой ядра.

В поперечных сечениях распадающегося осевого вихря отчетливо выделяются различные типы регулярных вихревых мультиплетов, в том числе и впервые полученные в лабораторных условиях триплеты и квадруплеты.

Литература

Okulov, V.L. On the stability of multiple helical vortices // *J. Fluid Mech.* 2004. V. 521. P. 319–342.

Окулов В.Л., Наумов И.В., Соренсен Ж.Н. Самоорганизующиеся вихревые мультиплеты в закрученном течении // *Письма в ЖТФ.* 2008. Т. 34, № 15. С. 89–95.

Наумов И.В., Окулов В.Л., Соренсен Ж.Н. Применение 3D PIV для диагностики самоорганизующихся вихревых мультиплетов // *Оптические методы исследования потоков: Труды 10-й Международной научно-технической конференции. Москва, 23–26 июня 2009 г. М.: Изд. МЭИ, 2009. С. 342–345.*

К. т. н. И. В. Наумов (Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск), д. ф.-м. н. В. Л. Окулов (Технический университет Дании, Копенгаген)