

*А.А. Будников, Ю.Д. Чашечкин*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ «МУСОРНЫХ ОСТРОВОВ» В ВИХРЕВОМ ОКЕАНЕ

*A.A. Budnikov, Yu.D. Chashechkin*

### MODELING OF «GARBAGE ISLAND» FORMATION IN THE VORTEX OCEAN

*Создана лабораторная установка для изучения движения плавучих маркеров конечного объема в составном вихре. Визуализированы траектории маркеров при воспроизводимых внешних условиях. Траектория движения маркера зависит от его начального положения. При движении маркер вращается как вокруг центра, так и вокруг собственной оси. Определены положения мгновенного центра вращения маркеров и сепаратрисы, разделяющей области при помещении в которые маркер при дальнейшем движении смещается к центру или стенкам контейнера.*

*Ключевые слова: Мусорные острова, составной вихрь, траектории движения твердотельных маркеров.*

*The polypropylene markers motion in composite vortex in a laboratory set-up was studied. Trajectories of the markers depending on their initial position under fixed external conditions are tracked. Moving marker rotates both round the whirl center and round its own axis. Corresponding angular velocities are defined. The separatrix dividing areas of initial positions from which the marker displaced to the center of a whirl or to the container wall was found.*

*Key words: Garbage islands, compound vortex, solid-state markers movement trajectories.*

### **Введение**

Вихревые движения, и в атмосфере, и в океане, могут захватывать и переносить различные примеси и предметы. Поведение захваченных предметов в пылевых дьяволах, торнадо и в других компактных вихрях порой непредсказуемо. Например, отмечается способность смерчей вонзать продолговатые предметы (соломинки, палки, обломки и др.) в деревья, стены домов, землю и т. п.) [1].

Океанские циркуляционные течения различных масштабов, начиная от мелких вихрей и заканчивая глобальной системой течений, охватывающей все океаны, также захватывают и транспортируют различные плавучие предметы. Наблюдения показы-

вают, что плавающие предметы могут собираться и длительно удерживаться в форме компактных образований вследствие действия центробежных и кориолисовых сил, а также влияния деформации свободной поверхности океана.

Одним из примеров такого скопления служит Саргассово море – район антициклонического круговорота вод в Атлантическом океане. В этом районе как минимум несколько столетий существуют плавучие бурые водоросли – саргассы, составившие основу специфической экосистемы. Запас водорослей оценивается в 4 – 11 млн. тонн. В настоящее время безопасности экосистемы угрожает загрязнение мазутом, нефтью, смолами и другими продуктами техногенного и антропогенного происхождения [2].

Относительно недавно в Тихом океане, а затем в Атлантическом и в Индийском океанах, были обнаружены области значительного скопления мусора, в основном дрейфующего пластика, плавающего вблизи и на свободной поверхности. На данный момент известно положение нескольких крупных областей скопления мусора, в тех местах, где океанские течения образуют масштабные круговороты [3]. В 2009 году был образован «Институт пяти водоворотов» (5 Gyres Institute), ориентированный на изучение природы и влияния загрязнения Мирового океана в уже обнаруженных “мусорных островах”, а также на поиск новых загрязненных участков [4].

Обнаружение “мусорных островов” и наблюдение за их динамикой представляет собой серьезную проблему. Поскольку основной массой мусора являются частицы пластика размерами порядка нескольких сантиметров [5], обнаружение их со спутника и даже визуально затруднительно. Отдаленность “мусорных островов” от берегов и основных маршрутов морских перевозок затрудняет возможности экспедиционного изучения процессов формирования и эволюции областей концентрации мусора.

Разлагающийся мусор оказывает сильное негативное влияние на морские экосистемы. Кроме того, происходящий время от времени выброс на побережье даже небольшой части пластика, находящегося в мусорном пятне, представляет собой серьезную проблему для жителей прибрежных районов [6]. На перенос примеси в приповерхностном слое влияют крупномасштабные вихревые течения, волнение и ветер, что затрудняет изучение закономерностей их переноса и разработку математических моделей и процессов.

Теоретическое исследование переноса обломков нерегулярной формы нестационарными вихревыми течениями практически не развито, вследствие сложности явления. Лабораторное моделирование данного процесса в контролируемых внешних условиях может оказаться полезным в оценке влияния основных факторов на динамику мусорного пятна и его отдельных составляющих.

На первом этапе интерес представляет изучение влияния неравномерно распределенной завихренности. Такие течения реализуются в различных лабораторных установках циркуляционного типа. Удобным объектом исследований служит поверхностное течение, которое формируется вращающимся диском, установленным на дне цилиндрического контейнера. Структура вихря и параметры поверхностной каверны в чистой жидкости (рис.1) приведены в [7].

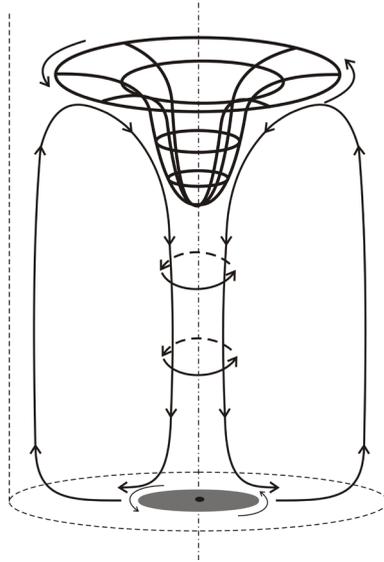


Рис. 1. Упрощенная схема вихревого течения, индуцируемого вращающимся диском в цилиндрическом контейнере.

Цель данной работы — изучение динамики плавающих частиц на поверхности составного вихря, моделирующего вихревую систему со стоком в центре и притоком жидкости на периферии.

Лабораторная установка:

Схема лабораторной установки приведена на рис. 2. Ее основу составляет рабочий контейнер — цилиндр 2 высотой 70 см. с внутренним диаметром 29.4 см. Для уменьшения оптических искажений при фотографировании течений цилиндр помещался внутрь открытого параллелепипеда размерами 64 45 70 см. в металлической раме. Сквозь геометрический центр контейнера через уплотнительный сальник проходит вал, соединенный напрямую с электромотором. На вал устанавливается активатор 3 — гладкий диск диаметром 5 см и толщиной 2 мм. Верхняя кромка диска располагается на расстоянии 2 см. от дна бассейна. На уровне верхней кромки установлено фальш-дно 4. На оси также располагается диск с прорезями 5 для возможности измерения угловой скорости вращения оси, которая определяется при помощи оптического датчика 8 и блока преобразования сигнала 9. Диск приводится во вращение электромотором 6, частота вращения которого варьируется в диапазоне от 200 до 2500 об/мин. Выбор частоты вращения осуществляется блоком управления 7. Частота вращения может изменяться в ходе эксперимента, так и поддерживаться постоянной. Картина течения регистрируется с помощью фото и видеоаппаратуры 10 (указать какие модели). Управление экспериментом и регистрация данных ведется с помощью ЭВМ 11. Для наполнения и осушения бассейна используется гидравлическая система 12. Освещение для фотосъемки производится источником белого света 13 с рассеивающим экраном 14 или лампой ультрафиолетового света 15.

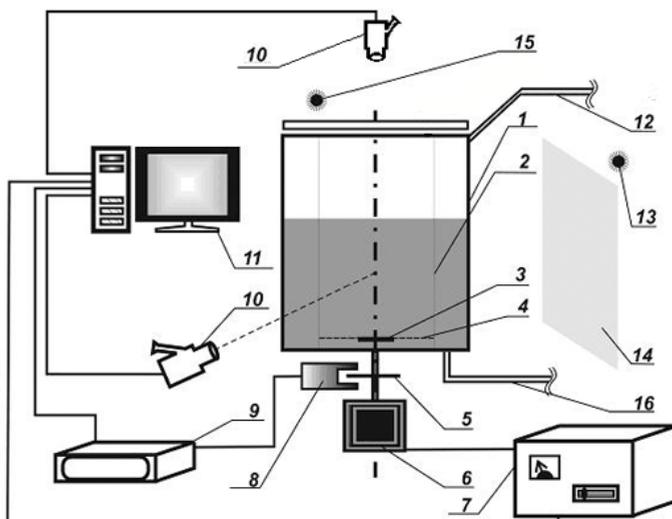


Рис.2. Схема лабораторной установки для изучения вихревого движения.

Перед началом эксперимента установка заполняется дегазированной водопроводной водой. Глубина слоя жидкости в данных экспериментах составляла 40 см. Условия освещения (угол и высота расположения прожектора) подбираются так, чтобы при дальнейшей обработке изображения все детали свободной поверхности жидкости были видны и различимы. На поверхность жидкости помещается один или несколько плавучих маркеров – полипропиленовые пробирки, утяжеленные (для вертикальной ориентации в воде) свинцовыми дробинками. Фотография используемых маркеров приведена на рис.3.



Рис.3. Плавучие маркеры, использовавшиеся в экспериментах.

Каждый новый эксперимент начинался после затухания всех движений в бассейне. В данных опытах частота вращения диска-активатора составляла 500 об/мин. Видео-регистрация проводилась с помощью цифровой видеокамеры Panasonic NV-

MX500, расположенной вертикально над центром бассейна. Видеозапись движения маркера начиналась с момента начала движения маркера и продолжалась в течение всего эксперимента.

Обработка отснятого материала в оболочке **Adobe Photoshop** позволяла проследить траектории частиц и их угловое положение, положение метки на крышке, а также измерить следующие параметры:

$R$  – расстояние от центра маркера до центра каверны, обозначающего центр вращения поверхностного слоя жидкости.

$\Omega$  – угловую скорость вращения маркера вокруг центра каверны.

$\omega$  – собственную частоту вращения маркера вокруг своей оси.

В качестве угловой скорости  $\Omega$  выбиралось среднее значение частоты вращения маркера за время одного оборота вокруг центра каверны. Собственная частота вращения маркера  $\omega$  осреднялась за время обращения вращения вокруг собственной оси. Погрешность измерения при том составляет  $\pm 10\%$ .

Пример траектории маркера, полученной при помощи наложения кадров, отснятых в процессе регистрации положений маркера и последующим соединением прямыми линиями отмеченных точек, приведен на рис.4.

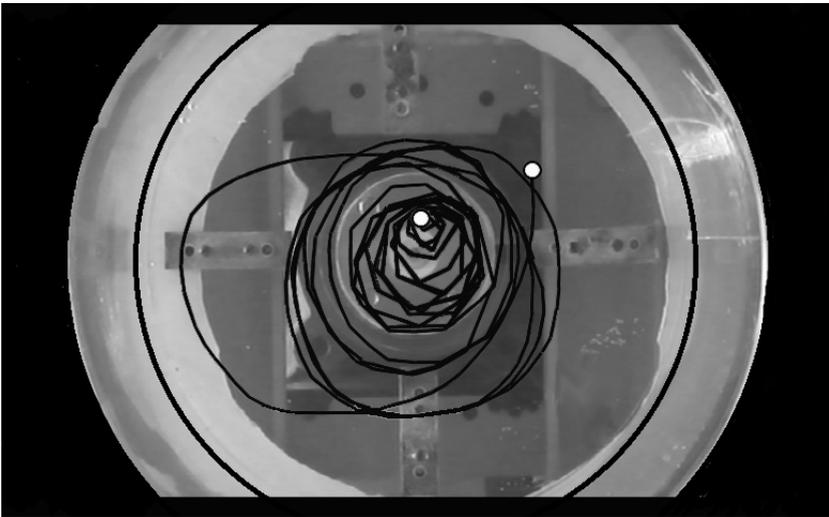


Рис.4. Пример траектории движения маркера Условия опыта.

Окружность с диаметром, составляющим примерно  $3/4$  от диаметра контейнера – условная сепаратриса, разделяющая области различного притяжения траекторий. Помещенный внутри сепаратрисы маркер смещается к центру каверны, во внешней области – к стенке контейнера. На рис.5 представлен график изменения со временем удаленности центра маркера от центра каверны, а на рис.6. изменение этой удаленности в зависимости от числа оборотов маркера вокруг центра каверны. В первом случае изменение расстояния можно аппроксимировать степенной зависимостью. Во втором – линейной.

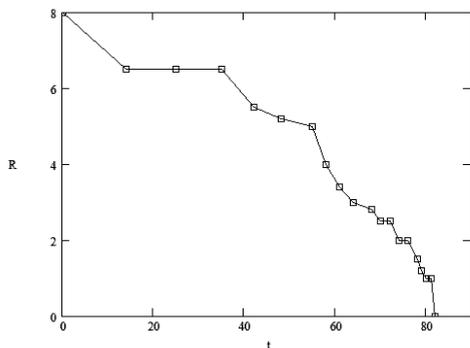


Рис.5. Зависимость расстояния маркера от центра вихря R от времени t.

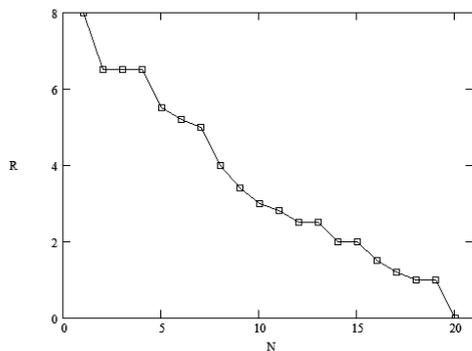


Рис.6. Зависимость расстояния маркера от центра вихря R от номера оборота вокруг центра вихря N.

На рис.7 представлен график увеличения угловой скорости вращения маркера вокруг центра каверны с течением времени. На рис.8 аналогичный график для собственной угловой скорости вращения маркера вокруг своего центра. Увеличение угловых скоростей можно аппроксимировать экспоненциальной зависимостью.

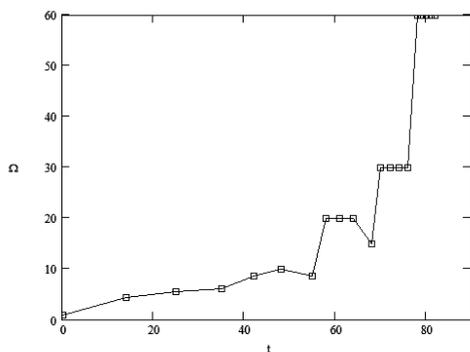


Рис.7. Зависимость угловой скорости вращения маркера вокруг центра вихря  $\Omega$  от времени t.

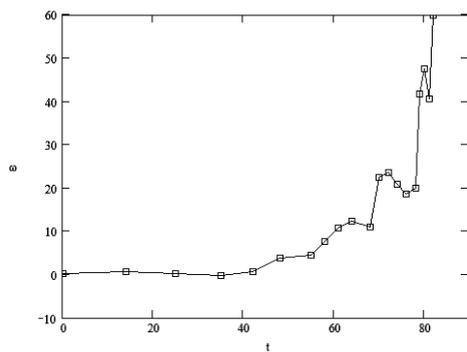


Рис.8. Зависимость угловой скорости вращения маркера вокруг центра вихря  $\Omega$  от расстояния R.

На рис.9 представлена зависимость угловой скорости вращения маркера вокруг центра каверны в зависимости от величины радиуса на котором происходит вращение. С приближением к центру каверны скорость вращения маркера возрастает.

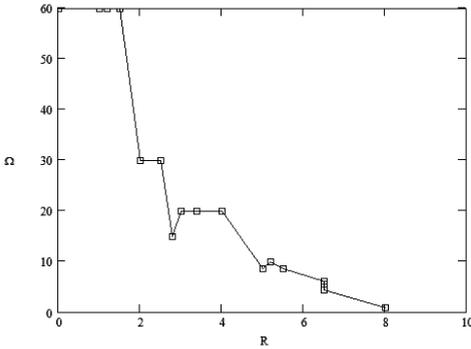


Рис.9. Зависимость собственной частоты вращения маркера вокруг своей оси  $\omega$  от времени  $t$ .

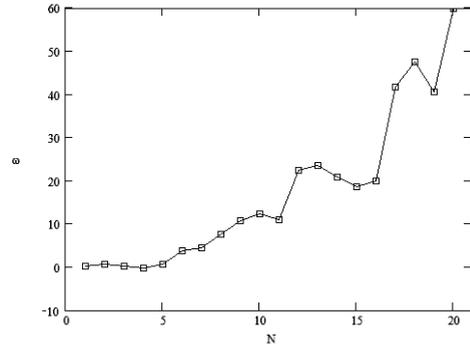


Рис.10. Зависимость собственной частоты вращения маркера вокруг своей оси  $\omega$  от номера оборота  $N$ .

\*\*\* Усредненная скорость приближения маркера к центру каверны представлена на рис. 11. Резкие скачки скорости можно объяснить.

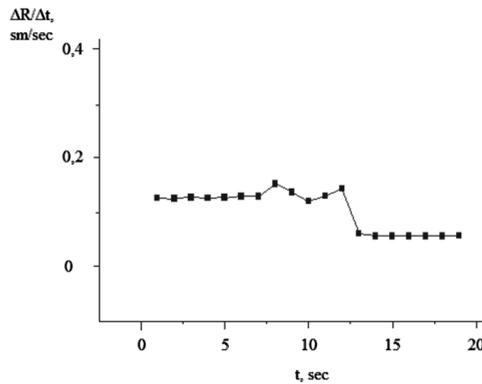


Рис.11. Зависимость радиальной компоненты скорости движения маркера к центру вихря от времени.

**Выводы:**

1. Создана установка для измерений параметров движения маркера с воспроизводимыми условиями.
2. Выполнен цикл опытов по изучению траекторий твердотельных маркеров в составном вихре при фиксированной глубине жидкости и скорости вращения диска-активатора.
3. Траектория движения маркера зависит от его начального положения. Существует область, при помещении в которую маркер будет двигаться не к центру вихря, а в сторону стенок контейнера.
4. Маркер вращается как вокруг центра, так и вокруг собственной оси.
5. Мгновенный центр вращения картины течения смещен относительно центра симметрии контейнера.

### Литература

1. *Наливкин Д.В.*, Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность. Л.: Наука. 1969. - 487 с.
2. *Carpenter Edward J., Smith K.L.* Plastics on the Sargasso Sea Surface. // Science. 1972, V.175. - p. 1240-1241.
3. <http://edition.cnn.com/2010/WORLD/americas/02/16/vbs.toxic.garbage.island/index.html?hpt=C1>
4. <http://5gyres.org/>
5. *Moore C.J., Moore S.L., Leecaster M.K., Weisberg S.B.* A comparison of plastic and plankton in the North Pacific Central Gyre. // Marine Pollution Bulletin. 2001, V. 42, № 12, p. 1297-1300.
6. *Barnes David K.A.* Natural and plastic flotsam stranding in the Indian ocean. // In: John Davenport and Julia L. Davenport (eds.) The Effects of Human Transport on Ecosystems: Cars and Planes, Boats and Trains, 193–205. Dublin: Royal Irish Academ, p. 193-205.
7. *Будников А.А., Степанова Е.В., Зырянов Ф.Б.* Геометрия возмущенной свободной поверхности вращающейся жидкости в цилиндрическом контейнере. С. 44 – 55. Физические проблемы экологии (Экологическая физика): Сборник научных трудов / под ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показеева. – М.: МАКС Пресс, № 13, 2005. - 200 с.