

Преломление и отражение поверхностных волн на вихревых течениях

Вергелес С.С.

16 июля 2025 г.

1 Описание и постановка задачи

Известен феномен, когда волны, распространяющиеся по поверхности жидкости, испытывают преломление и отражение в области, где возбуждено неоднородное в пространстве приповерхностное вихревое течение. В работах [Shrira & Slunyaev, 2014a; Shrira & Slunyaev, 2014b] было рассмотрено, как поверхностная гравитационная волна оказывается локализованной в поперечном направлении, когда она распространяется навстречу поверхностному течению, также локализованному в поперечном направлении (такое течение можно называть струёй). Предполагалось, что скорость в струе однородна по вертикали.

В работе [Torres и др., 2018] было рассмотрено распространение поверхностной волны на фоне вихря, имеющего специальный радиальный профиль: этот вихрь был создан источником, расположенным внутри жидкости на некоторой вертикальной оси. Этот вихрь имеет радиальную и азимутальную скорости, убывающие обратно расстоянию до оси-источника и однородные по вертикали. Было установлено, что волна в таком вихре не может быть в прямом смысле локализована в радиальном направлении. Однако, когда волна рассеивается на таком вихре, в его близи происходит преломление и усиление волнового поля за счёт наличия квази-связанной моды.

Однако, исходя из опыта решений задачи [Shrira & Slunyaev, 2014a; Shrira & Slunyaev, 2014b] ожидается, что если взять вихрь в виде закольцованной струи, то такой вихрь должен поддерживать локализованные (связанные) в радиальном направлении моды поверхностных волн, распространяющихся в азимутальном направлении.

Целью теоретического исследования является изучение волн, локализованных внутри изолированного вихря — вихря, в котором азимутальная скорость обращается в ноль на его оси на дальше определённого расстояния от неё. Для её достижения предполагается выполнить следующие **задачи**:

- Сверка волновых уравнений, полученных в работах [Вергелес и др., 2025, Ур. (75)] и [Torres и др., 2018, Eq. (2.1)]. Эти уравнения применимы в коротковолновом пределе, когда длина волны мала по сравнению с характерным масштабом течения.
- Получение уравнения на радиальный профиль локализованной по этому направлению волны в вихре с произвольным радиальным профилем средней скорости $V(r)$.
- Получение ответа на вопрос: существуют ли профили $V(r)$, в которых волна является локализованной? (Ожидается, что поверхностная волна в радиальном направлении от оси вихря будет локализована за счёт вращения, а в направлении к оси — также и “центробежным” потенциалом.) Если да, то какому критерию должен удовлетворять профиль $V(r)$? Построение явных решений для частных видов зависимостей $V(r)$.

В настоящее время в ИФТТ РАН ведутся экспериментальные исследования по распространению поверхностных волн в бассейне квадратной формы на фоне крупного вихря. Возбуждение вихря производится посредством вращения диска, установленного на дне бассейна в его центре. В таком вихре течение направлено в основном по азимуту (вертикальная и радиальная компоненты относительно малы), скорость течения обращается в ноль на оси вихря и на его периферии около границ. В этом смысле решение поставленной задачи имеет практический интерес.

Список литературы

- Shrira, V. I., & Slunyaev, A. V. (2014a). Nonlinear dynamics of trapped waves on jet currents and rogue waves. *Physical Review E*, 89(4), 041002. [URL](#).
- Shrira, V. I., & Slunyaev, A. V. (2014b). Trapped waves on jet currents: asymptotic modal approach. *Journal of fluid mechanics*, 738, 65—104. [URL](#).
- Torres, T., Coutant, A., Dolan, S., & Weinfurtner, S. (2018). Waves on a vortex: rays, rings and resonances. *Journal of Fluid Mechanics*, 857, 291—311. [URL](#).
- Вергелес, С. С., Левченко, А. А., & Парфеньев, В. М. (2025). Нелинейная генерация течений волнами на поверхности воды. *На рецензии в УФН*.