

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕУСТОЙЧИВОСТИ ВИХРЯ РЭНКИНА
И ДИНАМИКИ ЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

О.А. Доронина¹, П.А. Бахвалов², Т.К. Козубская²

¹Московский Физико-Технический Институт, Долгопрудный, Россия

²ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, Москва, Россия

Проблема моделирования вихревых структур является фундаментальной для понимания природы вихревых течений и возникающего в них акустического излучения. Особый интерес представляет исследование излучения звука возмущенным вихрем Рэнкина и его акустической неустойчивости.

Этот вопрос рассматривался ранее в работе [1]. Позднее механизм неустойчивости возмущенного аксиального вихря с учетом сжимаемости был объяснен в [2], [3].

Данная проблема сложна для численного моделирования из-за наличия резкой границы между вихревым и потенциальным течением. Ранее эта задача численно решалась с использованием схемы Кабаре [4] на структурированных сетках, где рассматривался механизм квадрупольного излучения.

В настоящей работе математическое описание проблемы основано на системе уравнений Эйлера. Численное моделирование проводится на неструктурированных сетках с помощью EBR (Edge-Based Reconstruction) схемы повышенной точности на основе реберно-ориентированной реконструкции переменных [5, 6].

Настоящее исследование начинается также с рассмотрения квадрупольного излучения возмущенным вихрем Рэнкина. Результаты численного моделирования хорошо согласуются с аналитическим решением [1] и численными результатами, полученными в работе [4].

Далее в работе рассматривается излучение в более высоких модах и динамика генерируемого возбужденным вихрем тонального акустического излучения с постепенным переходом от высоких к более низким гармоникам. Продемонстрировано изменение поля завихренности в зависимости от количества оборотов вихря N (Рис. 1).

Кроме того, показано, что невозмущенное состояние вихря Рэнкина является неустойчивым. Продемонстрирован процесс его перехода в возмущенное состояние при малом внешнем возмущении. Динамика излучения и развитие более низких гармоник при этом такие же, как при задании вихря с деформированной границей в начальный момент времени.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект 15-01-07911).

Литература

1. *Broadbent E. G., Moore D. W.* Acoustic destabilization of vortices // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* – 1979. – Т. 290. – №. 1372. – С. 353-371.
2. *Копьев В. Ф., Леонтьев Е. А.* Об акустической неустойчивости аксиального вихря // *Акуст. журн.* – 1983. – Т. 29. – №. 2. – С. 192-198.
3. *Копьев В. Ф., Леонтьев Е. А.* Излучение и рассеяние звука вихревым кольцом // *Изв. АН СССР. МЖГ.* 1987. №3. С. 83-95.
4. *Яковлев П. Г.* Излучение звука плоским локализованным вихрем // *Акуст. журн.* – 2012. – Т. 58. - № 4. – С. 563-568.
5. *Абалакин И.В. Козубская Т.К.* Схема повышенной точности на основе реберно-ориентированной квазиодномерной реконструкции переменных для решения задач аэродинамики и аэроакустики на тетраэдральных сетках // *Математическое моделирование*, 2013, т.25, №8, с.109-136.
6. *Abalakin I., Bakhvalov P., Kozubskaya T.* Edge-based reconstruction schemes for prediction of near field flow region in complex aeroacoustics problems // *International Journal of Aeroacoustics.* – 2014. – Т. 13. – №. 3. – С. 207-234.

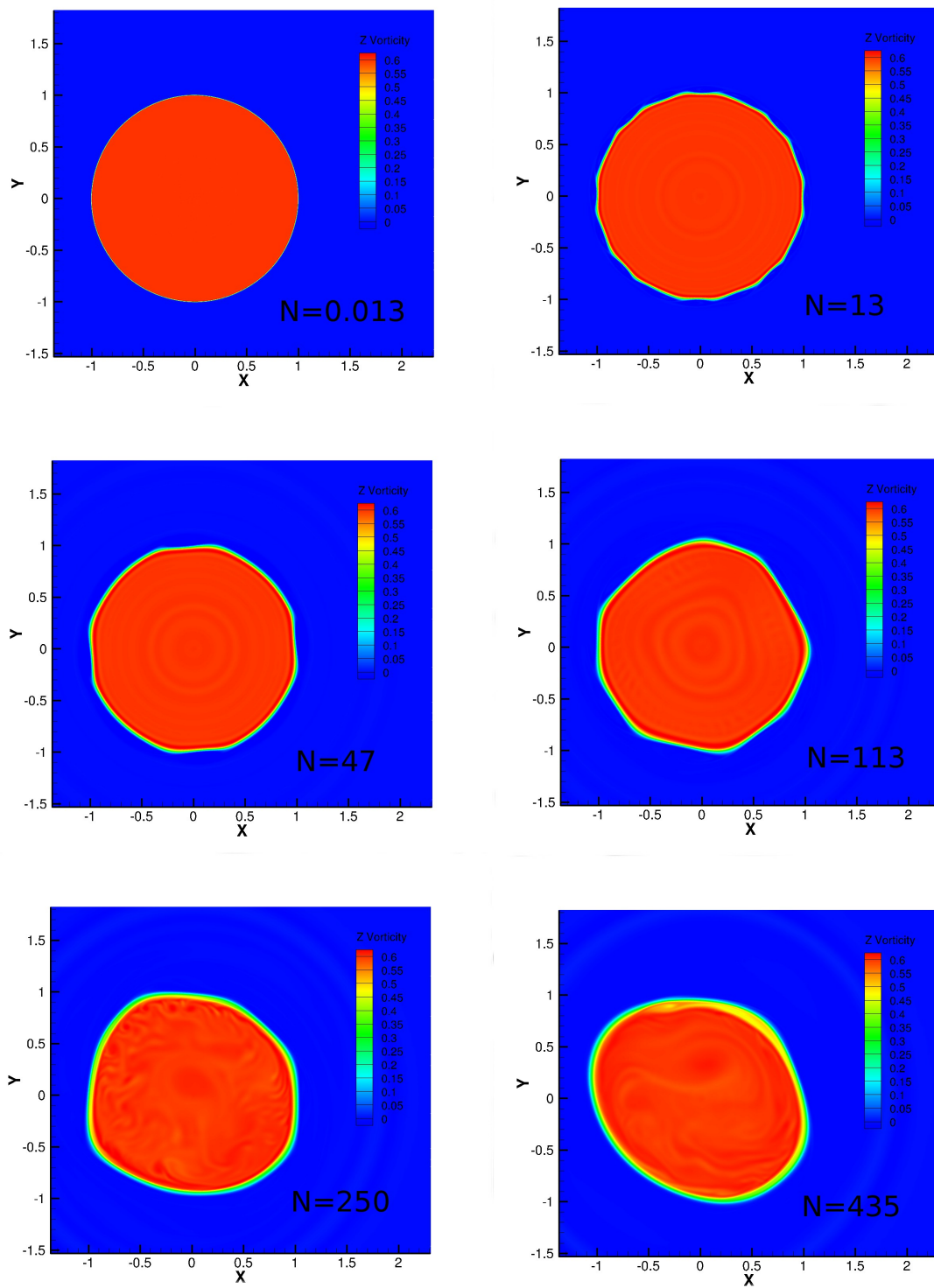


Рис.1: Завихренность на разные моменты времени (N – число оборотов вихря)