

Численное исследование акустической неустойчивости вихря Ранкина

Р.А. Скворцов¹, Г.А. Фараносов^{1,2}, П.Г. Яковлев³

¹ Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет

³ Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова

В работе представлены результаты численного моделирования собственных колебаний вихря Ранкина и излучения ими звука. Известно аналитическое решение данной задачи для несжимаемой жидкости [1], линейное приближение при малых числах Маха M (вычисленных по скорости на границе вихря) для сжимаемой жидкости [2], а также решение, справедливое для произвольного числа Маха [4]. Теоретически была обнаружена акустическая неустойчивость, объяснённая на языке волн с отрицательной энергией в работах [2, 3].

Для расчётов брался плоский вихрь с постоянной завихренностью в области, ограниченной окружностью с наложенными на неё малыми возмущениями. Численное моделирование задачи заключалось в решении уравнений Эйлера с помощью схемы КАБАРЕ [5]. Первый результат для данной задачи был получен в [6], где исследовался один режим течения, для которого было получено хорошее согласие с линейной теорией. В отличие от работы [6], впервые проводится параметрическое исследование данной задачи, в том числе при больших дозвуковых M . На основании полученных в расчете данных для каждого исследованного режима были вычислены инкремент неустойчивости и частота вращения вихря, а также проведено сравнение с предсказаниями теории [2, 4].

Показано, что величина инкрементов нарастания возмущений, полученная по данным численного моделирования, хорошо совпадает со значениями, вычисленными на основе в [4] (см. рис. 1, где показана зависимость безразмерного инкремента g для эллиптической моды от числа M). Из рис. 1 также видно, что приближение малых M справедливо примерно до значения $M \sim 0.3$. Таким образом, в численном решении правильно предсказываются эффекты взаимодействия вихревой динамики и сжимаемости, а значит, можно ожидать, что данная схема может быть использована для решения более сложных задач, например, для задачи излучения звука турбулентным вихревым кольцом.

Работа выполнена с использованием ресурсов суперкомпьютерных комплексов: МГУ имени М.В. Ломоносова [7], СВФУ «Ариан Кузьмин», а также при частичной поддержке Правительства РФ по постановлению № 220 (№ 14.Z50.31.0032).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов

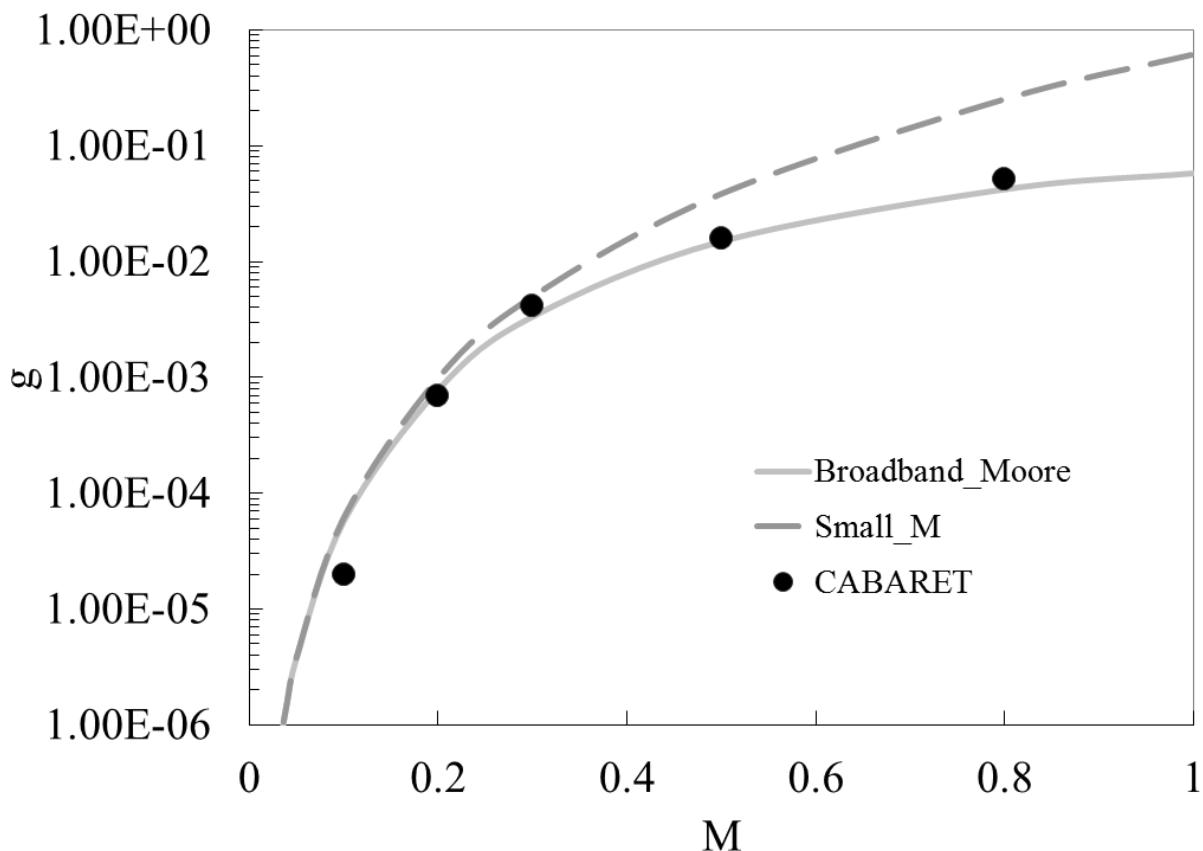


Рис.1. Зависимость безразмерного инкремента g для эллиптической моды от числа M .

Литература

1. Лэмб Г. Гидродинамика. – М.: Гостехиздат, 1947. – 928 с.
2. Копьев В.Ф., Леонтьев Е.А. Об акустической неустойчивости аксиального вихря. Акуст. журн. 1983. Т. 28. № 2. С. 192-198.Фвфвфв
3. Копьев В.Ф., Леонтьев Е.А. Излучение и рассеяние звука вихревым кольцом. – Изв. АН СССР. МЖГ. 1987. № 3. С. 83–95.
4. Broadbent E.G., Moore D.W. Acoustic destabilisation of vortices. –Phil. Trans. Roy. Soc. 1979. V.A290. P.353-371.фвфв
5. Karabasov S.A., Goloviznin V.M. A new efficient high-resolution method for non-linear problems in aeroacoustics. J. AIAA. 2007. V. 45. N. 12. P. 2861-2871.
6. Яковлев П.Г. Излучение звука плоским локализованным вихрём. Акуст. журн. 2012. Т. 58. № 4. С. 563-568.
7. Воеводин Вл.В., Жуматий С.А., Соболев С.И., Антонов А.С., Брызгалов П.А., Никитенко Д.А., Стефанов К.С., Воеводин Вад.В. Практика суперкомпьютера "Ломоносов" // Открытые системы. – Москва: Издательский дом "Открытые системы", 2012. – 7.