

## Стационарное решение для вихревого кольца с однородной завихренностью

*Р.В.Акиншин<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup> Центральный аэрогидродинамический институт

Хорошо известно, что на начальном участке турбулентной струи развиваются крупномасштабные структуры, имеющие вид отдельных волн неустойчивости Кельвина-Гельмгольца или их нелинейной стадии развития – отдельных вихрей. Особенно явно такие структуры проявляются в возбужденных струях. Представляет интерес исследование механизмов излучения звука, связанных с волнами неустойчивости (высокоскоростные струи) или с излучением отдельных вихрей (вероятные источники шума сравнительно низкоскоростных струй). Будучи надежно идентифицированы, такие структуры могут служить объектами для активного управления ([1], [2]), что, при условии их связи с частью акустического излучения в дальнее поле, может быть основной для создания системы снижения шума струи.

Отдельная вихревая структура может ассоциироваться с вихревым кольцом, которое может излучать звук за счет собственных колебаний. Именно вихревое кольцо является основным предметом исследования в настоящем проекте. Задача о собственных колебаниях вихревого кольца чрезвычайно сложна вследствие сложности самого объекта как динамической системы. Поэтому все теоретические решения ограничены случаем тонкого вихревого кольца ( $\varepsilon \ll 1$ ,  $\varepsilon$  – отношение размера сечения вихря к радиусу кольца).

В работах ([3], [4]) было получено, что в вихревом кольце может реализовываться новая неустойчивость, связанная со взаимодействием собственных колебаний ядра и течения в окрестности ядра или со взаимодействием различных мод ядра. Эта неустойчивость принципиально отличается от коротковолновой неустойчивости ([5]), реализуемой для колебаний с возмущениями, имеющими длину волны порядка радиуса ядра, в отличие от длинноволновых, имеющих масштаб радиуса всего вихря. Новые неустойчивости могут возникать для возмущений дискретного спектра, расположенных достаточно близко к точке сгущения, когда моды, имеющие энергии разных знаков оказываются рядом. Для исследования этой ситуации необходимо получить решение с учетом следующих членов разложения по параметру  $\varepsilon$ , не полученных к настоящему времени. Поэтому получение следующих членов в стационарном решении, необходимых

для постановки задачи о колебаниях ядра вихря интересующей нас части спектра, является принципиальным.

Согласно результатам работы [6] стационарное решение существует, причем для различных распределений завихренности в ядре. Задача настоящей работы заключалась в получении следующих членов в стационарном решении для формы ядра и поступательной скорости вихревого кольца с однородным распределением завихренности. Это распределение будет использоваться в дальнейшем для нахождения осесимметричных колебаний ядра вихревого кольца. В данной работе построен алгоритм нахождения любой поправки к радиусу сечения кольца и скорости его движения и представлена вторая поправка к радиусу сечения.

Автор выражает благодарность проф. В.Ф. Копьеву за постановку задачи и внимание к настоящему исследованию. Работа выполнена частично при поддержке гранта РФФИ (№ 13-01-00476)

#### Литература

- [1] *Беляев И.В., Зайцев М.Ю., Копьев В.А., Копьев В.Ф., Фараносов Г.А.* Акустическое управление волнами неустойчивости в турбулентной струе. Акустический журнал, 2013, Т.59, №1, с.19-30.
- [2] *Kopiev V.F., Akishev Y.S., Belyaev I.V., Berezhetskaya N.K., Bityurin V.A., Faranosov G.A., Grushin M.E., Klimov A.I., Kopiev V.A., Kossyi I.A., Moralev I.A., Ostrikov N.N., Taktakishvili M.I., Trushkin N.I., Zaytsev M.Yu.* Instability wave control in turbulent jet by plasma actuators // J. Phys. D: Appl. Phys. 2014. V. 47 505201, P.1-18.
- [3] *Копьев В.Ф., Чернышев С.А.* Длинноволновая неустойчивость вихревого кольца, Изв. РАН МЖГ, 1995, №6, с.72-78
- [4] *Kopiev V.F., Chernyshev S.A.* Vortex ring eigen-oscillation as a source of sound. J. of Fluid Mech. 1997, v.341, p.19-57.
- [5] *Widnall S.E., Tsai S.Y.* 1977 The instability of a thin vortex ring of constant vorticity. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A287, N 1344, 273-305.
- [6] *Fraenkel L.E.* On steady vortex rings of small cross-section in an ideal fluid. Proc. of royal society, 1970.