

Энергетический подход к задаче о колебаниях цилиндра ограниченным потоком несжимаемой жидкости.

Копьев В.Ф.², Чернышев С.А.², Юдин М.А.^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Центральный аэрогидродинамический институт

Неустойчивости трехмерных вихрей играют ключевую роль в проблеме возникновения турбулентности. Одна из таких неустойчивостей (сдвиговая неустойчивость) связана с потоком энергии из критического слоя к вихревому ядру (Рис.1). По-видимому, эта неустойчивость отвечает за турбулизацию атмосферы вихревого кольца при больших числах Рейнольдса.

Сложность исследования сдвиговой неустойчивости связаны с тем, что она возникает только для криволинейных вихревых нитей.

Течение цилиндрического вихря оказывается нейтрально устойчивым[2]. В работе [3] рассмотрен осциллятор в безграничном потоке. Было показано, что колебания такого осциллятора могут оказаться неустойчивыми.

Экспериментальное исследование данного механизма, предполагает ограниченность области течения, в отличие от безграничного случая, рассмотренного в [3]. В рамках двумерных несжимаемых уравнений Эйлера исследована устойчивость системы, состоящей из внутреннего незакрепленного кругового цилиндра, обтекающей его жидкости с круговыми линиями тока и внешнего закрепленного цилиндра (стакана) (рис.2). Получено дисперсионное соотношение для различных средних течений, реализуемых между цилиндрами: потенциального течения, течения с постоянной завихренностью и течения со слабо убывающей/нарастающей завихренностью. Для каждого случая получено решение задачи о собственных колебаниях.

В работе приведены точные решения дисперсионного соотношения и дан их анализ. Показано, что в отличие от безграничной задачи (без внешнего стакана) тяжелый цилиндр становится неустойчивым уже в потенциальном случае.

Сдвиговая неустойчивость характерная для безграничного цилиндра в потоке с убывающей завихренностью, реализуется в ограниченном случае не только для убывающей, но и для нарастающей завихренности, поскольку вторая ветвь колебаний в дисперсионном соотношении становится в ограниченном случае нетривиальной. С помощью теоремы Арнольда проведено энергетическое исследование потери устойчивости в системе.

Развит энергетический подход к решению задачи в потенциальном случае, как для ограниченного течения, так и для безграничного. Используя выражения для кинетической энергии системы и обобщенных сил найден обобщенный потенциал, каждый из членов которого имеет трактовку (присоединенная масса, подъемная сила и сила «Чиззоти»[4]). Решена задача об устойчивости используя уравнение Лагранжа для голономных механических систем[5].

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Исследований (Грант РФФИ 16-01000746а).

Литература

1. Копьев В.Ф., Чернышев С.А. Колебания вихревого кольца, возникновение в нем турбулентности и генерация звука. Успехи физических наук 2000, Т. 170. № 7. С. 713-442
2. Копьев В.Ф., Леонтьев Е.А. Акустическая неустойчивость плоских вихревых течений с круговыми линиями тока. Акуст. журн., 1988, Т. 34. № 3. С. 475-480.
3. Копьев В.Ф., Чернышев С.А. Неустойчивость колеблющегося цилиндра в циркуляционном потоке идеальной жидкости. МЖГ 2000, № 6. С. 78-92.
4. Ламб Г., Гидродинамика, ОГИЗ, государственное издательство технико-теоретической литературы, 1947, 930с.
5. Гантмахер Ф.Р., Лекции по аналитической механики, Физматлит, 2001, 264с.

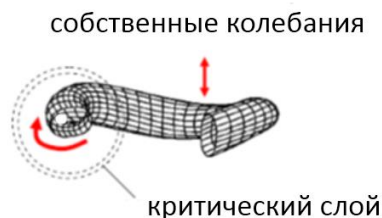


Рисунок 1

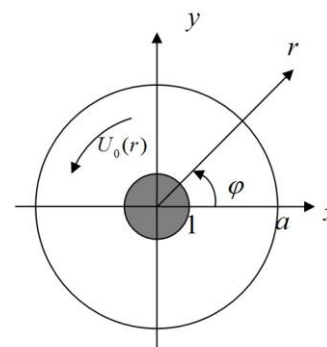


Рисунок 2