

ЗАЩИТА ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАДИЕНТНО-
ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА АЭРОДИСПЕРСНЫХ СРЕД
ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ
ЦЕПОЧЕК КАРМАНА. СИММЕТРИЧНАЯ СХЕМА ЦЕПОЧЕК

Б. Б. Виленчиц, В. К. Попов, Г. В. Шаронов

Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ,
Минск

E-mail: vkr@bk.ru

Пусть имеются две параллельные цепочки вихрей (вихревые цепочки Кармана, рис. 1), причем расстояние между двумя соседними вихрями для обеих цепочек равно $l_{\text{Ц}}$, а интенсивности цепочек, соответственно, Γ_1 – у верхней и Γ_2 – у нижней, расстояние между цепочками – $h_{\text{Ц}}$. Рассмотрим случай «твердых» цепочек, т.е. таких, для которых расстояние между всеми вихрями остаются неизменными. В этом случае [1]

$$\Gamma_1 = -\Gamma_2, \quad (1)$$

т. е. интенсивности цепочек одинаковы по величине и противоположны по знаку. Рассмотрим такой вариант расположения цепочек. Между каждыми двумя вихрями первого ряда находится другой вихрь второго ряда (рис. 1) – симметричный порядок. Скорость перемещения таких цепочек [1] для симметричного порядка

$$V_{\text{ЦС}} = \Gamma/2 l_{\text{Ц}} \cdot \text{cth}(\pi h_{\text{Ц}}/l_{\text{Ц}}).. \quad (2)$$

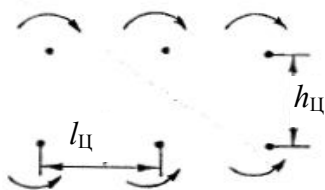


Рис. 1. Схема расположения вихрей
в симметричной цепочке Кармана

Движение цепочек Кармана устойчиво, если при малых смещениях вихрей в начальный момент времени расстояние между двумя любыми вихрями во все время движения остается близким к расстоянию между этими вихрями в начальный момент времени. Из такого определения Карман получил следующее условие устойчивости:

$$h_{\text{Ц}}/ l_{\text{Ц}} = 0,2806. \quad (3)$$

Если теперь такую цепочку с вышеприведенным соотношением параметров $h_{Ц}$ и $l_{Ц}$ закрепить в коробе (канале), а вихри при этом будут вращаться, то такая цепочка будет создавать поток определенной скорости и направления.

Оценим величину скорости потока, создаваемого цепочкой Кармана, при условии, что поток из канала за счет других побудителей расхода отсутствует. Если считать, что вихри создаются вращающейся с угловой скоростью $\omega_{Л}$ лопастью с радиусом лопастей $r_{Л}$, то для величины циркуляции скорости можем записать выражение

$$\Gamma = \int V_{Ц} dr_{Ц} = \int \omega_{Л} r_{Л}^2 d\varphi_{Ц} = 2 \omega_{Л} r_{Л}^2 \pi . \quad (4)$$

С учетом равенства (4) формулу (2) для скорости движения вихревой цепочки можно переписать в виде

$$V_{ЦС} = \pi \omega_{Л} r_{Л}^2 / l_{Ц} \cdot \operatorname{cth}(\pi h_{Ц} / l_{Ц}). \quad (5)$$

Полученное соотношение позволяет сделать оценки генерируемой скорости потока неподвижной системы вихрей в демпфирующем устройстве. Положив $\omega_{Л} = 950 \text{ с}^{-1}$, $r_{Л} = 0,02 \text{ м}$, $h_{Ц} / l_{Ц} = 0,02806$, $h_{Ц} = 0,04 \text{ м}$, для величины скорости получим значение для симметричного порядка $V_{ЦС} = 11,84 \text{ м/с}$.

Воспользовавшись уравнением Бернулли, оценим величину перепада давления, создаваемого цепочкой вихрей при одном закрытом торце канала, т. е. размещенной в коробе у излучателя и фотоприемника анализатора и представляющей собой аэродинамическое окно.

$$\Delta P_{Ц} = (P_{О} - P)_{Ц} = \rho V_{ЦС}^2 / 2 . \quad (6)$$

Положив для воздуха $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$, получаем для симметричного порядка $\Delta P_{ЦС} = 90 \text{ Н/м}^2$. Экспериментальные исследования цепочки с симметричным порядком расположения при трех вихрях в одной цепочке дали значения перепада давления несколько ниже расчетных. В эксперименте перепад давлений при тех же выбранных выше условиях составил для симметричной цепочки $\Delta P_{ЦС} = 25 \text{ Н/м}^2$. Более низкое значение $\Delta P_{Ц}$ в эксперименте можно объяснить приближенным характером определения величины Γ в теоретических расчетах, а также влиянием диссипации энергии за счет вязкостного трения.

1. Кочин Н. Е., Кибель И. А., Розе Н. В. Теоретическая гидромеханика. Ч. 1. М.: Физматгиз, 1963. 584 с.