

пелс.

УДК 66.02.071.7

**МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИХРЕЙ ПРИ ОБТЕКАНИИ ДИСКРЕТНО
РАСПОЛОЖЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ**

Н.С.Бекибаев, А.А.Волненко, Л.И.Раматуллаева
ЮКГУ им. М.Ауезова, г.Шымкент

Вихреобразование, срыв вихрей и их движение в объеме дискретно расположенных элементов вызывают пульсирующие изменения скорости движения, давления и плотности потока. Физическая связь волновых (пульсирующих) процессов в электро-радиотехнике [1] и гидравлике [2] позволяют применить элементы теории импульсной техники для описания процессов, протекающих в тепло- и массообменных аппаратах.

Представим весь газожидкостной слой в аппарате как газожидкостную импульсную систему, а обтекаемые тела – импульсными элементами. Тогда массообменный аппарат можно представить состоящим из совокупности последовательных и параллельных соединений ячеек, в каждой из которых находится импульсный элемент и некоторая газо-жидкостная - непрерывная часть потока.

При последовательном расположении импульсных элементов в потоке газа (жидкости) можно создать синхронный режим вихреобразования [1]. Синхронность определяется равенством частот или периодов образования всех импульсов. Период T определяется по формуле:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{d}{SIW_2}, \quad (1)$$

из которой следует, что применение одинаковых форм и размеров тел приводит к равенству частот формирующихся вихрей.

При синхронном движении импульсов значительный интерес представляет величина сдвига в моментах их возникновения. Она позволяет оценить произведенную работу от суммарного воздействия импульсов. Чем меньше временное запаздывание в моментах образования импульсов, тем больше результат. Максимум произведенной работы достигается при сдвиге, равном единице. Режим одновременного возникновения импульсов называется синфазным, а работа импульсных элементов - синфазной.

В работе [3] рассмотрен механизм взаимодействия вихрей за дискретно расположенными шарами. Как известно, за шарообразными телами образуются торондальные вихри и срыв их происходит симметрично. За призматическими телами с круглым, квадратным, треугольным и т.д. сечением происходит несимметричный срыв вихрей, и в отличие от дорожки вихрей, образующейся за сферой, обладающей периодом движения, след за призматическими телами имеет полупериод. В результате этого элементы, расположенные с шагом в половину меньше, чем при симметричном срыве, будут формировать вихри одновременно.

Рассмотрим физическую картину обтекания двух последовательно соединенных призматических элементов при наличии временного запаздывания, а также при одновременном возникновении импульсов в периодном и полупериодном режимах.

Принимаем во внимание, что выходная величина впереди стоящего импульсного элемента является входной только для последующего (расположенного ниже по потоку) и не может воздействовать на характеристику третьего элемента, минуя второй. Взаимодействие вихрей осуществляется путем подавления или полного их срыва за элементом, находящимся по потоку.

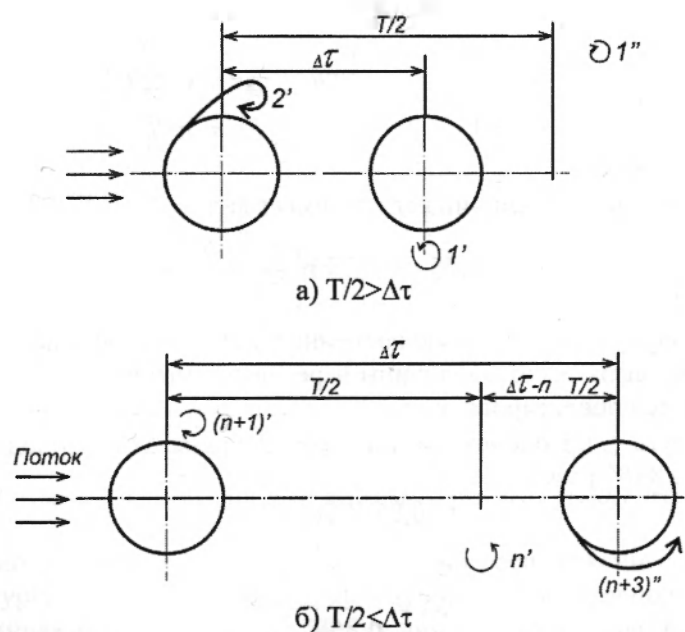


Рисунок 1 – Схема взаимодействия несимметрично образующихся вихрей

Рассмотрим импульсное взаимодействие между элементами, когда период образования вихря больше времени его движения от одного до другого тела, т.е. $T/2 > \Delta\tau$ (рисунок 1). Допустим, что в начальный момент времени за всеми телами возникает одновременное образование вихрей. Первые возникшие вихри отрываются и уносятся потоком, а с противоположной стороны на этих же элементах зарождаются вторые. Первый вихрь, достигнув за время $\Delta\tau$ элемент, расположенный ниже по потоку, должен там остановить процесс образования второго вихря, время существования которого равно времени пролета первого вихря до второго элемента, т.е. $\Delta\tau$ и тем самым сдвинуть начало образования вновь появляющегося вихря вторым элементом на время $\Delta\tau$. После отрыва первого вихря от первого элемента и за время $\Delta\tau$ его движения ко второму элементу на первом элементе с противоположной стороны образуется второй вихрь, которому для полного завершения формирования и отрыва необходимо время $(T/2 - \Delta\tau)$. Но за этот же промежуток $(T/2 - \Delta\tau)$ на втором теле с противоположной стороны от места подавления вихря образуется третий, который может оторваться только через время $\Delta\tau$, т.е. в момент подхода второго вихря от впередистоящего элемента. В виду совпадения обоих моментов в дальнейшем вынужденного срыва не происходит. А время $\Delta\tau$, на которое запаздывает срыв вихря, назовем временем запаздывания.

Далее рассмотрим импульсное взаимодействие между элементами, когда $T/2 < \Delta\tau$. Из рисунка 1б видно, что вынужденный срыв наступит после того, как от элемента, расположенного выше по течению, оторвется $(n+1)$ вихрь (n – целое число $T/2$, содержащихся в $\Delta\tau$). При своем движении первый вихрь с впередистоящего элемента срывает $(n+3)$ вихрь со второго элемента, время накопления которого к этому моменту составит $(\Delta\tau - n \cdot T/2)$ и сдвигает начало вихреобразования от второго тела на этот промежуток времени. Следовательно, второй вихрь с элемента, расположенного выше по течению, подходит к $(n+4)$ вихрю второго элемента в момент его отрыва, и в дальнейшем вынужденного срыва не последует. Время $(\Delta\tau - n \cdot T/2)$ для этого случая будет являться временем запаздывания.

Аналогичная картина наблюдается и в периодном режиме. Отличием будет то, что в случае $T > \Delta\tau$ к моменту подхода первого вихря с первого элемента на втором элементе будет формироваться $(n+3)$ вихрь, а в случае $T < \Delta\tau$ к моменту подхода первого вихря ко второму элементу будет образовываться $(n+4)$ вихрь.

Из рассмотренного механизма обтекания видно, что время запаздывания представляет собой некоторую часть периода образования вихря и их отношение определяет сдвиг в моментах образования вихрей на элементах. Обозначим эту величину через θ_s и назовем сдвигом. Физический смысл сдвига заключается в определении части от общего числа вихрей, создаваемых цепочкой насадочных тел за период T . Пределы непрерывного изменения θ_s определяются условиями:

$$\left. \begin{aligned} \theta_s &= 0,5 & \text{при} & \Delta\tau = 0,25T \\ \theta_s &= 1 & \text{при} & \Delta\tau = n \cdot T \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $n = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 \dots n$.

С учетом этих требований величина сдвига имеет вид:

$$\theta_s = 0,75 + 0,25 \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(4 \frac{\Delta\tau}{T} + 1 \right) \right]. \quad (3)$$

Как видно из формулы (3), наличие временных величин $\Delta\tau$ и T затрудняет вычисление размера сдвига. Поэтому выразим эти величины через шаг t_s между элементами насадки, который обычно задается перед проектированием.

Учитывая, что путь t_s , преодолеваемый вихрем за время $\Delta\tau$ в периодном режиме вихреобразования, при $W_s = 0,86W_z$ равен

$$t_s = 0,86W_z \Delta\tau, \quad (4)$$

получаем

$$\Delta\tau = \frac{t_s}{0,86W_z} \quad (5)$$

Подставим значение $T/2$ из (1), а $\Delta\tau$ из (5) в (3) и находим величину сдвига в периодном и полупериодном синфазном режиме:

$$\theta_s = 0,75 + 0,25 \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(4n_T \frac{Sl}{0,43} + 1 \right) \right] \quad (6)$$

В уравнении (6) количество элементов определяется следующей зависимостью:

$$n_T = t_s/d \quad (7)$$

Непрерывным условием синфазного режима в работе импульсных элементов является $\theta_s=1$, которое достигается только при $\Delta\tau=n \cdot T/2$, где $n=0,1,2,3 \dots n$.

Из (5) с учетом $\Delta\tau=n \cdot T/2$ находим:

$$\frac{t_s}{0,43} = n \cdot \frac{d}{Sl}, \quad (8)$$

откуда шаг t_s между элементами, при котором достигается полупериодный и периодный режимы одновременного вихреобразования:

$$t_s = n \frac{0,43d}{Sl}, \quad (9)$$

где при $n=1$ - полупериодный, а при $n=2$ - однопериодный режим одновременного вихреобразования.

Из уравнения (9) видно, что число Струхала является определяющей величиной при расчете шага между насадочными телами. Согласно [4], число Струхала для призматической насадки круглого поперечного сечения $Sl=0,2$. Тогда, согласно уравнения (9), полупериодный режим наступит при $t_s' = 2,15d$, а однопериодный при $t_s'' = 4,3d$. У призматической насадки квадратного и х-образного поперечного сечения числа Струхала практически равны и составляют $Sl=0,136$, тогда $t_s' = 3,16d$ и $t_s'' = 6,3d$.

Графический вид зависимости $\theta_s = f(t_s)$ изображен на рисунке 2. В полупериодном t_s' и однопериодном t_s'' режимах одновременного вихреобразования максимальный временной сдвиг равен единице, минимальное значение сдвига равно 0,5.

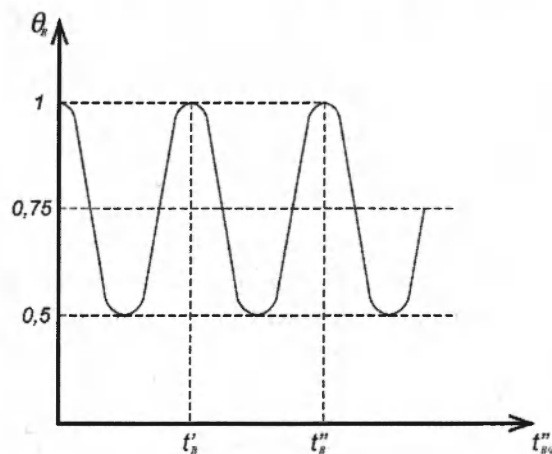


Рисунок 2 – Зависимость сдвига θ_s от вертикального шага между элементами t_s/d

Теперь рассмотрим взаимодействие параллельно расположенных импульсных элементов. Анализ литературных данных по обтеканию двух цилиндров, расположенных рядом, показал, что при расстояниях менее $2d$ в зазоре между ними частота срыва вихрей больше, чем та, которая получена для одиночно обтекаемых тел. С уменьшением зазора частота растет. Следовательно, ширина зазора определяет частоту срыва вихрей. В этом случае рост силы сопротив-

ления и подъемной силы обусловлен значительными затратами энергии потока за счет увеличения числа образующихся вихрей в единицу времени.

При достижении некоторого критического расстояния между обтекаемыми телами параметром, определяющим частоту срыва вихрей, становится ширина обтекаемых тел, а сила сопротивления и подъемная сила снижаются. Дальнейшее увеличение расстояния приводит к незначительному снижению действующих на тела сил.

Из условия взаимодействия параллельных вихревых струй следует, что коэффициент θ_p , характеризующий степень взаимодействия вихрей в радиальном направлении и учитывающий изменение частоты вихреобразования, может быть определен по формуле:

$$\theta_p = \frac{t_p - \lambda}{t_p - d_p} \quad (10)$$

Графическая зависимость $\theta_p = f(t_p)$ представлена на рисунке 3.

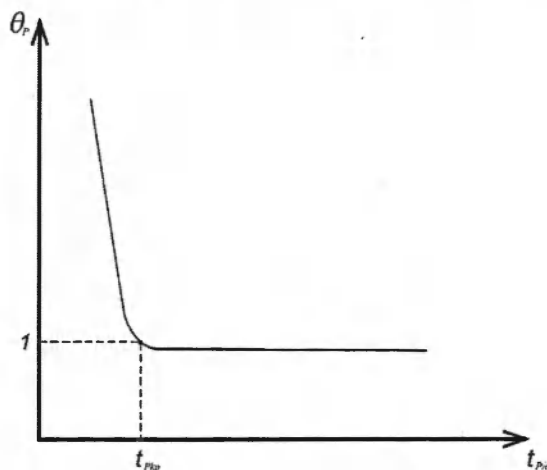


Рисунок 3 — Зависимость коэффициента θ_p от радиального шага между элементами t_p/d

Таким образом, для учета степени взаимодействия вихрей в продольном и поперечном основному потоку направлении предложены уравнения для расчета коэффициентов θ_v и θ_p .

Литература

- 1 Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. — М.: Государственное изд-во физико-математической литературы, 1963.- 968с.
- 2 Могендович Е. Гидравлические импульсные системы. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1977.- 216с.
- 3 Петин В.Ф., Балабеков О.С., Мусин Н.А. Математическая модель структуры потоков в аппарате с регулярной подвижной насадкой //Современные машины и аппараты химических производств: Материалы второй Всесоюзной конференции. Т.2 .- Чимкент, 1980.-С.455-462.
- 4 Novak J. Strouhal number of quadrangular prism, angular iron and two circular cylinders arranged in tandem // Acta Technica fsv. — 1974. - № 3. — S.361 — 372.

Қорытынды

Құйындардың өзара әрекеттесуін ескеру үшін, тік және көлденең бағыттардағы олардың өзара әрекеттесу дәрежесін ескеруші коэффициенті есептеу өрнегі ұсынылды.

Summary

The equations for calculation of coefficients taking into degree of interaction of curls in vertical and radial directions are offered.