

2. Меркулов А.П., Колышев Н.Д. Исследование температурных полей вихревой трубы с диффузором. - Труды КуАИ, 1965, вып. 22.
3. Меркулов А.П., Волов В.Т. Исследование совместной работы самовакуумирующейся вихревой трубы с диффузором. - Изв. вузов. Авиационная техника, 1979, № 1.
4. Виллякин В.Е., Колышев Н.Д. К вопросу охлаждения цилиндрических тел в самовакуумирующейся вихревой трубе. - В кн.: Некоторые вопросы исследования вихревого эффекта и его промышленного применения. - Куйбышев, 1974, с. 219-223.

УДК 681.121.89

А.Ш.Киясбейли, М.Е.Перельштейн

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Основные закономерности поступательно-вращающихся потоков описываются уравнением Навье-Стокса в форме Ламба-Громеки. Решение этого уравнения для частных условий стационарного поступательно-вращающегося потока [1] дает возможность представить его структуру. Он состоит из внешней области, совершающей поступательно-вращательное движение, и внутренней области. Во внешней области величина тангенциальной скорости U_{τ} обратно пропорциональна расстоянию от оси вихря, во внутренней области движение частиц вихревое (ядро вихря). Эта область вращается с постоянной угловой скоростью. Граница с радиусом r_m , где избыточное давление $\Delta p = 0$, является границей ядра вихря. Ядро вихря поступательного движения не совершает, и распределение давлений в нем подчиняется соотношению

$$p_m - p = \frac{\rho \omega^2}{2} (r^2 - 2r_m^2). \quad (1)$$

Если среда сжимаема, то $p = p_0 (\rho/\rho_0)^{1/\kappa}$, при этом в ядре вихря наблюдается понижение плотности, а во внешней области - ее повышение. Помимо передачи кинетической энергии вращения от внешней

области к внутренней, происходит интенсивный турбулентный теплообмен, в процессе которого тепло из ядра вихря передается в периферийные слои [2]. Значение массового расхода связано с величинами температур во внешней и присевых областях вращающегося потока газа:

$$M = \frac{2q}{C_p(T_r - T_x)} \quad (2)$$

Исследование поступательно-вращающегося потока при выходе из сопла в трубопровод показало, что ядро вихря смещается относительно оси сопла и начинает совершать относительно неё сателлоидное вращение (гидродинамическая прецессия). Движение указанного типа создается за счет гироскопического момента, вызванного взаимодействием ядра вихря с внешней областью потока в расширенной части трубопровода [1, 3]. Это взаимодействие создает силу P , направленную по радиусу от центра вращающегося потока. По теореме Резаля эта сила вызывает гироскопический момент, перпендикулярный ее направлению, который, в свою очередь, создает прецессионное движение ядра вихря с частотой

$$\omega_1 = \frac{P \ell}{I_c \omega} \quad (3)$$

С увеличением расстояния от среза сопла в глубину расширяющейся области частота прецессии уменьшается за счет диссипации вихря, поэтому ядро вихря скручивается в спираль с увеличивающимся шагом. Для сжимающихся сред в ядре вихря его плотность меньше, чем во внешних областях, поэтому возникает сила G , равная разности плотностей в объеме, вытесненном ядром вихря, и направленная вдоль оси тяготения всегда в одну сторону.

Взаимодействие сил P и G обуславливает периодическое изменение гироскопического момента по модулю и направлению в течение оборота, что, в свою очередь, определяет неравномерность скорости движения ядра вихря. В направлении поля тяготения гироскопический момент максимален, а в противоположном направлении минимален. Среднее значение скорости ядра вихря за полный период остается неизменным. Характеристики прецессирующего ядра вихря являются основным источником информации при исследовании потоков жидкости или газа.

С помощью вихревого эффекта измеряется ряд параметров движущихся потоков.

Объемный расход и количество. В качестве измерительного уравнения реализуется соотношение (3), которое после преобразования и с учетом, что $U_{\tau}/U_z = const$, может быть записано в следующей форме:

$$f = 0,64 \frac{NQ \sin \theta}{r_o r_m^2 \xi'} \cong U_k. \quad (4)$$

Коэффициент $\xi' = const$ в диапазоне $3 \cdot 10^3 < Re < 7 \cdot 10^5$. Вращение потока создается лопастным шнеком, вращающаяся струя формируется соплом с расширением на выходе, в котором размещен чувствительный элемент, преобразующий число оборотов прецессирующего ядра вихря в последовательность вихревых колебаний. В качестве чувствительных элементов преобразователей используются датчики давления пьезоэлектрического типа, нагреваемые термисторы, оптические, емкостные и ультразвуковые преобразователи. Полученный электрический сигнал поступает на частотомер или сумматор. Шкала частотомера градуирована в единицах объемного расхода, а счетчик выдает число, пропорциональное объемному количеству прошедшей через прибор измеряемой среды. Описанное устройство может быть также использовано для измерения локальных скоростей в открытых руслах и больших водотоках, в частности, для измерения скорости движения судов и летательных аппаратов.

Массовый расход и количество. Во время прецессии ядро вихря соприкасается своей центральной областью с чувствительным элементом преобразователя давления, который формирует электрический импульс с амплитудой, пропорциональной в максимуме (см. соотношение I).

$$U = \rho U^2. \quad (5)$$

Если разделить амплитуду импульсов на их частоту, получим напряжение, пропорциональное массовому расходу:

$$U_m = \frac{U}{f} = \frac{\rho U^2}{U} = \rho U = M. \quad (6)$$

Разместив два термометра в ядре газового вихря и его периферийной части, а также используя измерительное соотношение (2), получим величину массового расхода.

Плотность. В уравнении (6) деление может быть выполнено дважды на тот же делитель, полученное напряжение пропорционально

плотности исследуемого потока [4]. Плотность движущегося потока может быть измерена на основании уравнения (5) при условии поддержания постоянства угловой скорости прецессии $\omega_p = const$. Для выполнения этого условия использовано устройство, содержащее описанный выше генератор вращающейся прецессирующей струи с контрвихревым гидродинамическим регулятором, обеспечивающим торможение вращения основного потока с целью поддержания постоянства угловой скорости независимо от значения расхода и других физических свойств измеряемой среды.

Вязкость. Описанное выше устройство можно использовать для измерения вязкости потоков жидкости или газа. Для этой цели надо измерить величину внешнего момента, прикладываемого к вращающемуся потоку для стабилизации его скорости. Значение момента можно оценить по углу поворота исполнительного механизма регулятора, изменяющего напор контрвихревого потока.

Пространственное положение систем. Измерение угловой скорости системы основано на возникновении закрутки потока при вращении системы. Интенсивность вращения оценивается по разности давлений между осью и периферией вращающегося потока. Неравномерность гироскопического момента при прецессионном вращении газового потока используется для измерения направления и величины поля тяготения.

Рассмотренные аспекты использования вихревого эффекта показали широкие возможности метода. Наибольшее применение в промышленности Советского Союза и за рубежом нашли приборы для измерений объемных и массовых расходов жидкостей или газов. Все большее применение находят вихревые гироскопы. Приборы этого типа отличает высокая надежность, простота и хорошие метрологические характеристики.

Л и т е р а т у р а

1. К и я с б е й л и А.Ш., П е р е л ь ш т е й н М.Б. Вихревые счетчики-расходомеры. - М.: Машиностроение, 1974, 161 с.
2. М е р к у л о в А.И. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969.

3. К и я с б е й л и А.Ш., П е р е л ь ш т е й н М.Е.
Состояние и перспективы развития вихревых счетчиков-расходомеров. - М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1975, 63 с.
4. К и я с б е й л и А.Ш., П е р е л ь ш т е й н М.Е.
Вихревые измерительные приборы. - М.: Машиностроение, 1978, 151 с.

УДК 621.532

А.Д.Суслов, А.В.Мурашкин

ЦИРКУЛЯЦИЯ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

В настоящее время стоит вопрос о повышении эффективности вихревых холодильников. Для повышения их эффективности используют охлаждение стенок труб. Существует большое количество конструкций ВТ с охлаждаемым горячим концом [1], с отводом тепла непосредственно к воде, впрыскиваемой внутрь трубы [2], с устройствами для интенсификации теплообмена внутри трубы [3] и другие. Адиабатный к.п.д. охлаждаемых ВТ в настоящее время невысок, он составляет 25-27%. Возможности повышения эффективности неадиабатной ВТ ограничиваются малой поверхностью теплообмена горячего конца. Увеличение длины горячего конца до 30 диаметров и более не приводит к улучшению энергоразделения в ВТ [2], а интенсификацию теплоотдачи с помощью непосредственного ввода жидкости внутрь трубы реализовать сложно.

Одним из возможных путей решения поставленной задачи является полезное использование энергии горячего потока и охлаждение его вне полости ВТ [4].

В МВТУ им. Н.Э.Баумана предложен, разработан и исследован ряд конструкций вихревых холодильников с промежуточным охлаждением циркулирующего горячего потока [5, 6, 7]. Схема энергетического баланса вихревого холодильника представлена на рис. 1. Вихревой холодильник состоит: из основной трубы 1, диффузора 2,