

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРУЧЕННОГО
ВОЗДУШНОГО СТОЛБА,
МОДЕЛИРУЮЩЕГО ВИХРЕВУЮ ТРУБУ**

З.А.Кабилев, А.В.Ковалев, Н.В.Малай

Белгородский государственный университет,

Студенческая,14, Белгород, 308007, Россия, e-mail: kovalev_a_v@mail.ru.

В настоящей статье представлены обобщенные результаты экспериментального моделирования вихревого движения газа. Описана экспериментальная установка и приведены графики результатов эксперимента.

Ключевые слова: вихревое движение газа, вихревая труба.

1. Введение. Вихревые эффекты широко используются в современной технике [1,2]. Имеется обширный экспериментальный материал, полученный при исследовании различных устройств, с закрученными газовыми и жидкостными потоками. Эмпирические зависимости, выведенные на основе этих результатов, позволяют разрабатывать новые в техническом отношении устройства, но приемлемой теории явлений, происходящих, например, в вихревых трубах и в других устройствах, использующих закрученные потоки, в настоящее время не существует. Это обстоятельство в существенной мере ограничивает возможности повышения термодинамического КПД вихревых и струйных аппаратов. Предприняты попытки [3-5] обобщить и проанализировать выдвинутые различными авторами гипотезы, однако четкого физического представления о структуре и эволюции вихревых потоков пока нет. Это связано, в первую очередь, с тем, что большая часть экспериментальных данных, на которых базируются высказываемые гипотезы, относятся к исследованиям технических устройств конкретного назначения, созданных по конструктивным соображениям, а не на основе представлений о физических явлениях, происходящих в естественных или в созданных вихрях. Для достаточно глубокого изучения вихревого движения изменяющихся сред требуется не только теоретическое моделирование изучаемых явлений, но и физический эксперимент на реальных упрощенных моделях, результаты которого позволили бы проанализировать и описать отдельные аспекты явлений.

Целью данной и последующих работ является экспериментальное моделирование вихревого движения газа или жидкости в ограниченных пространствах для определения термодинамических параметров сложных течений, влияния на них различных внешних факторов, и разработка алгоритма создания искусственных вихрей с заданными параметрами. Конкретной задачей исследования является разработка вихревых труб с улучшенными характеристиками. Этот тип вихревых аппаратов имеет техническую перспективу, в частности, в холодильной технике. Принцип работы этих устройств основан на эффекте Ранка [6] (Ранка - Хильша), обнаруженного в 1931 году.

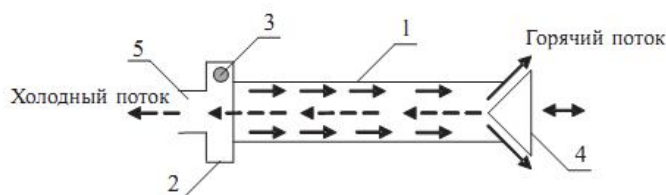


Рис. 1: Схема вихревой трубы: 1 – камера разделения, 2 – сопловой блок, 3 – вход исходного потока, 4 – дроссель, 5 – диафрагменный выход.

Простейшая вихревая труба [6], схема которой приведена на рис.1, представляет собой цилиндрическую трубу (камеру разделения – 1), в которую, через сопловой блок – 2 и вход – 3, тангенциально вводится газовый или жидкостной поток, закручивающийся в камере разделения. Под действием инерционных сил образуется свободный поток винтообразной структуры (периферийный), который, достигая дросселя – 4, затормаживается и разделяется на два потока. Один из них – горячий выходит, обтекая дроссель, а другой – вынужденный вихрь (холодный поток), формирующийся вдоль оси, поворачивает навстречу свободному вихрю и выходит через диафрагму – 5. Разница температур горячего и холодного потока может достигать 100 и более кельвинов. Основным недостатком вихревых энергоразделителей является невысокое значение адиабатного КПД, не превышающего 0,24.

2. Эксперимент. В качестве экспериментальной модели использовался стационарный вращающийся воздушный столб в цилиндрической трубе, заглушенной с одного конца.

Первой задачей, которую необходимо было решить в ходе модельных экспериментов, являлось определение распределения давления в закрученных потоках. Она решалась с помощью экспериментальной установки, схема которой приведена на рис.2. Установка представляет собой цилиндрическую трубу длиной 500 мм с внутренним диаметром 46 мм. По образующей цилиндра

дра просверлены десять отверстий малого диаметра для введения зондов. В качестве зонда использовалась игла медицинского шприца с внешним диаметром 0,5 мм. Конец иглы обрезан под прямым углом, поэтому воздушный поток любого направления обтекал зонд в перпендикулярном направлении.

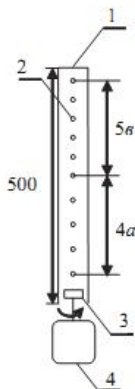


Рис. 2: Схема расположения измерительных зондов: 1 – труба, 2 – отверстия для зондов, 3 – крестовина, 4 – электродвигатель; $a = 50$ мм, $b = 40$ мм.

Задвигая или выдвигая зонд из отверстия можно измерять приращение (отрицательное) статического давления в закрученном столбе воздуха в радиальном направлении выбранного сечения от оси до стенки трубы.

Давление измерялось с помощью стандартного наклонного манометра марки ММГ-2400(5)-1,0. Зонды последовательно перемещались из одного отверстия в другое, причем в каждом сечении проводилось 5 измерений: на оси трубы, на расстоянии 5 мм от оси, 10 мм, 15 мм, и непосредственно у стенки (23 мм). Вращение воздушного столба осуществлялось электродвигателем УЛ-062, на вал которого насажена крестовина из двух перпендикулярных друг другу пластин размером 20×40 мм. Максимальная скорость вращения двигателя - 5000 оборотов в минуту. Для исключения систематических погрешностей, связанных с неточностью изготовления и крепления крестовины, измерения проводились при вращении двигателя как по часовой, так и против часовой стрелки. Полученные данные усреднялись, в связи с чем возможная генерация осевого движения воздуха (вентиляторный эффект) крестовиной также исключалась.

Для определения направлений движения слоев вращающегося воздушно-

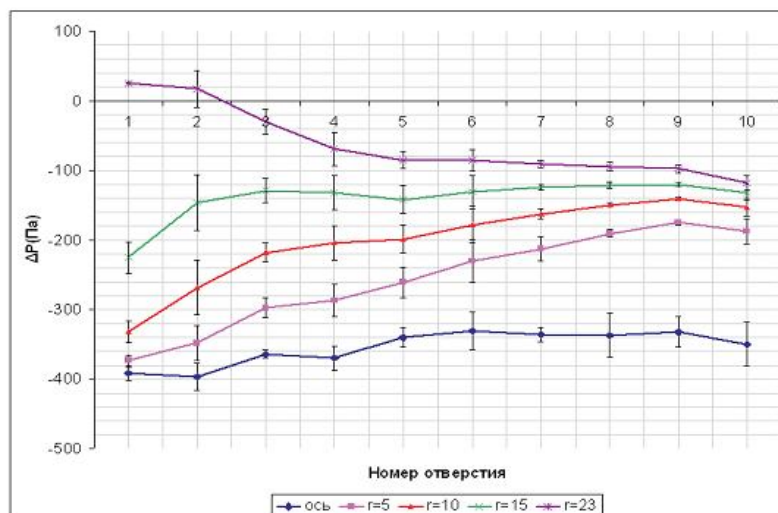


Рис. 3: Изменение статического давления по высоте столба.

го столба использовался зонд с загнутым под 90° концом. Поворачивая зонд, можно определить как полный напор, так и приращения статического давления, например, в положениях зонда "по потоку". Позиционируя зонд в положениях максимального полного напора, можно оценить угол наклона струй при образовании винтообразного потока.

На рис.3 приведен график изменения статического давления по высоте трубы для оси и слоев, отстоящих от оси на 5, 10, 15 и 23 мм. Как видно, в первом сечении, находящимся на 35 мм выше крестовины, разброс давлений максимален. В пристеночном слое давление несколько превышает атмосферное, а во всех других наблюдается разрежение, максимальное по оси трубы. По мере удаления от крестовины величина разрежения на оси практически остается постоянной, в других же слоях формируется упорядоченное движение с близкими значениями статического давления, что означает образование стационарного вихря в форме трубы с толщиной "стенки" примерно 18 мм. Приосевое ядро с низким давлением имеет диаметр около 10 мм.

На рис.4 приведены зависимости радиального изменения давления в трех сечениях. Как видно, в третьем от крестовины сечении, давление по радиусу изменяется практически линейно (кривая 1), а в десятом, отстоящим от заглушенного торца на 35 мм, (кривая 3) оно резко возрастает по радиусу на протяжении 5 мм, а затем практически стабилизируется.

Замеры с помощью поворотного углового зонда показали, что в периферийных слоях образуется восходящий поток винтообразной структуры. Век-

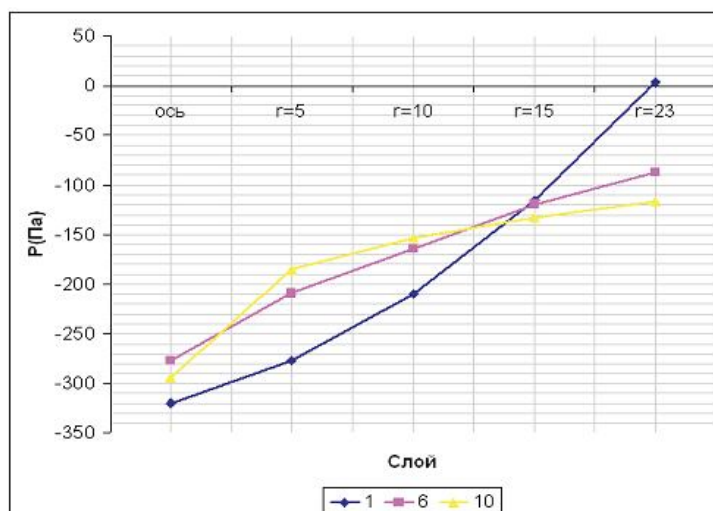


Рис. 4: Зависимость радиального изменения давления в трех сечениях.

тор скорости имеет наклон относительно горизонтальной плоскости в $40 - 45^\circ$. При его торможении у заглушенного торца происходит перетекание газа из периферийных слоев в центральное ядро, в результате чего образуется осевой противоположный поток, направление вращения которого из-за малых размеров с достоверностью установить не удалось.

В дальнейшем предполагается измерение температурных полей в закрученном потоке с помощью термозондов, изготовленных из таких же медицинских игл.

Литература

1. Вихревой эффект и его применение в технике // Материалы 2-й Всесоюзной научно-технической конференции. – Куйбышев: КуАИ, 1976.
2. Вихревой эффект и его промышленное применение // Материалы 3-й Всесоюзной научно-технической конференции. – Куйбышев: КуАИ, 1981.
3. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике / А.П.Меркулов. – М.: Машиностроение, 1969.
4. Пиралишвили Ш.А., Поляев В.М., Сергеев М.Н. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Ш.А.Пиралишвили. – М.: УН-ИЦ "Энергомаш", 2000.

5. Гуцол А.Ф. Эффект Ранка // Усп. Физ. Наук. – 1997. – 167;6. – С.665-687.
6. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? / А.В.Мартынов. – М.: Энергия, 1976.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF INVOLUTE AIR COLUMN WHICH IS THE VORTICAL TUBE MODEL

Z.A.Kabilov, A.V.Kovalev, N.V.Malay

Belgorod state university,

Studencheskaya St., 14, Belgorod, 308015, Russia, e-mail: kovalev@mail.ru

Generalized results of the experimental modelling of the vortical motion in gases are presented. The experimental device is described and experimental graphs are presented.

Key words: gas vortical motion, vortical tube.