

В.И. Кузнецов

ТЕЧЕНИЕ ГАЗА В ТРУБЕ РАНКА
И ЕГО ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

(Омский политехнический институт)

Предложен способ визуализации течения газа в вихревой трубе (ВТ). Проведены исследования течения с фиксацией на пленку скоростной кинокамеры, что позволило уточнить закономерности протекания процессов в эффекте Ранка.

Применяемые методы для исследования сложных закрученных течений [1] (использование источников света высокой интенсивности, теневые методы, методы трассирующих частиц, голография, спектроскопия, интерферометрия, лазерные методы измерения скорости и размеров частиц) не дают возможности определить траекторию движения потока газа в вихревой трубе (ВТ), используемой для энергетического разделения газа на подогретый и охлажденный. В связи с этим основной задачей данной работы является попытка отыскания способа сделать видимой траекторию движения газа в ВТ. Для этого предложено подавать на вход в тангенциальное сопло ВТ горячие частицы с фиксацией их движения с помощью скоростной кинокамеры. Чтобы кинокамера могла фиксировать траекторию движения частиц, стенки камеры энергетического разделения и дроссель горячего потока ВТ выполнены из прозрачного оргстекла. В качестве горячих частиц использовались продукты горения твердой смеси типа "бенгальский огонь".

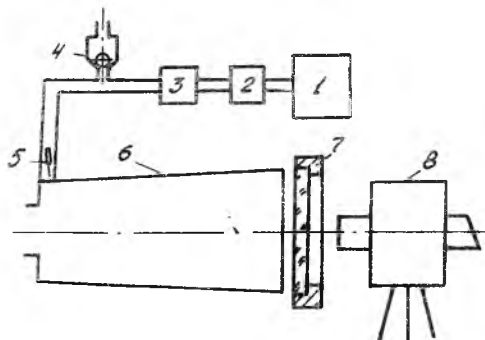
Кинокамера производила съемку с частотой 4000 кадров в секунду. Время экспозиции одного кадра — $5 \cdot 10^{-5}$ с.

Съемка производилась в двух положениях кинокамеры: вдоль оси ВТ (оси кинокамеры и ВТ были совмещены, рис. 1); перпендикулярно оси ВТ (рис. 2).

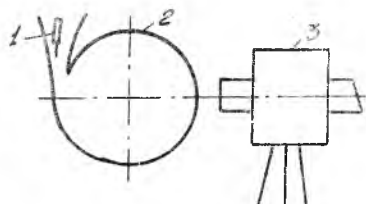
Тарировка параметров движения частиц в потоке производилась

ISBN 5-230-16926-5

Вихревой эффект
и его применение в технике.
Самара, 1992



Р и с. 1. Съемка движения горящих частиц при совмещении оси кинокамеры с осью ВТ: 1 - компрессор, 2 - маслоотделитель, 3 - влагоотделитель, 4 - предохранительный клапан, 5 - горючая смесь типа "бенгальский огонь", 6 - прозрачная камера энергетического разделения, 7 - прозрачный дроссель, 8 - кинокамера



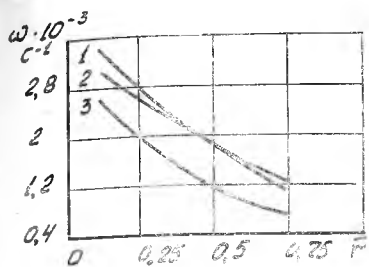
Р и с. 2. Съемка движения горящих частиц при перпендикулярном расположении оси кинокамеры к оси ВТ: 1 - горючая смесь типа "бенгальский огонь", 2 - прозрачная стенка камеры энергетического разделения, 3 - кинокамера

при истечении газа из дозвукового сопла со сверхкритическим отношением давлений до и после сопла с фиксацией его на пленку скоростной кинокамеры.

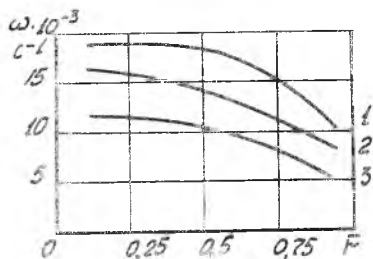
Скоростная киносъемка показала, что поток газа в ВТ движется по винтовой линии. Шаг винтовой линии увеличивается по мере удаления потока газа от входного тангенциального сопла. Проекция траектории движения частицы имела форму окружности при съемке вдоль оси ВТ, при съемке перпендикулярно оси - форму синусоиды. Замеры показали, что частицы, находящиеся ближе к оси вращения, движутся с большей угловой скоростью, чем частицы, находящиеся на большем расстоянии от оси.

График изменения угловой скорости частицы в зависимости от радиуса приведен на рис. 3. Изменение угловой скорости частиц по радиусу ВТ, полученное с помощью скоростной киносъемки, имеет такой же характер, как и описанный другими авторами [2, 3], проводящими исследования другими способами (рис. 4, 5).

На основе теоретических исследований было найдено [4], что энергообмен между осевыми и периферийными слоями газа в ВТ может осуществляться при наличии у них разных угловых скоростей под действием сил вязкости.



Р и с. 3. График изменения угловой скорости частицы в зависимости от радиуса: 1 - $l_r/d_r = 0$; 2 - $l_r/d_r = 1,0$; 3 - $l_r/d_r = 12,6$



Р и с. 4. График изменения угловой скорости частицы в зависимости от радиуса: 1 - $l_r/d_r = 1,0$; 2 - $l_r/d_r = 5,0$; 3 - $l_r/d_r = 10,0$

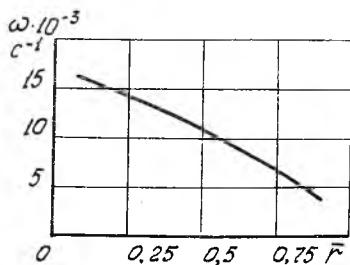
$$L = M(\omega_1 - \omega_2), \quad (I)$$

где M - момент, ω_1 - угловая скорость осевых слоев газа;

ω_2 - угловая скорость периферийных слоев газа.

Таким образом, если осевые слои газа будут иметь угловую скорость больше, чем периферийные ($\omega_1 > \omega_2$), то передача энергии идет от оси к периферии ($L > 0$). Осевые слои охлаждаются, периферийные - подогреваются. Если $\omega_1 < \omega_2$, то передача энергии идет от периферии к оси ($L < 0$) - реверс вихревого эффекта Ранка. Осевые слои газа подогреваются, периферийные - охлаждаются. Это явление должно наблюдаться при малых массовых долях холодного потока, когда по оси диафрагмы воздух из атмосферы подсасывается в ВТ, где к нему подводится энергия.

Если для ВТ искать аналог среди хорошо известных устройств, то ее можно сравнить с эжектором, в котором все процессы идут наос-



Р и с. 5. График изменения угловой скорости частицы в зависимости от радиуса ($l_r/d_r = 4,0$)

оборот. В эжекторе два газовых потока с различной энергией смешиваются в один поток со средней энергией, в ВТ – один газовый поток разделяется на два потока с различной энергией (полная температура одного потока выше полной температуры первоначального, а другого – ниже). В эжекторе энергия передается от высокоэнергетического газа к низкоэнергетическому силами вязкости за счет разности линейных скоростей, а в вихревой трубе энергия передается от низкоэнергетического к высокоэнергетическому газу силами вязкости за счет разности угловых скоростей. В связи с этим ВТ можно дать такое определение: ВТ – антиэжектор, работающий на разности угловых скоростей.

Таким образом, визуализация течения газа в ВТ горящими частицами типа "бенгальский огонь" открывает качественно новые возможности в исследовании эффекта Ранка.

Библиографический список

1. Гунта Л., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. М.: Мир, 1987. 588 с.
2. Мартыновский В.С., Алексеев В.П. Вихревой эффект охлаждения и его применение //Холодильная техника. 1953. № 3. С. 63–67.
3. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969. 184 с.
4. Кузнецов В.И. Оптимизация параметров вихревой трубы и методы ее расчета: Автореф. дис. д-ра техн. наук. ИТХП. Л., 1991. 32 с.