

маторы нового типа ТМГ и ТМГА является целесообразным и позволяет существенно уменьшить потери электроэнергии.

Библиографический список

1. Казаков, Ю.Б. *Энергоэффективность работы электродвигателей и трансформаторов при конструктивных и режимных вариациях: учебное пособие для вузов / Ю.Б. Казаков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 152 с.: ил.*

2. «Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных распределительных трансформаторов» / Журнал «Энергосбережение», №4, 2003 г., № 1, 2004 г.

УДК 62-983

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЛАМИНАРНОГО РЕЖИМА В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ

Ракша А.И.

Научный руководитель Ковалев Р.А.

Тульский государственный университет

Проведены численные расчеты на проточной части вихревых труб с разной длиной камеры энергоразделения с конусом, либо крестовиной на "горячем" конце при различных значениях давления во входном сопле.

Цель работы заключается в исследовании возможности практической реализации эффекта перераспределения энергии в вихревых трубах при ламинарном режиме течения.

Эффект Ранка, который представляет собой разделение энергии газового потока в вихревой трубе, известен более 80 лет [1]. В течение этого времени было создано большое количество технических вихревых устройств, которые используют эффект Ранка для: охлаждения частей оборудования, машин и механизмов, рабочих сред; осушения и разделения газов; кондиционирования воздуха; дополнительного подогрева рабочего газа [2].

С общеизвестной точки зрения эффект Ранка – это одно из основных свойств жидкой среды, которое состоит в возможности перераспределения полной энергии в интегрально – адиабатическом потоке с диссипацией и становится существенным в высокоскоростных газовых потоках.

Экспериментально была открыта возможность перераспределения энергии в ламинарных и турбулентных потоках [3], а так же в пристеночных слоях в сверхзвуковых потоках. Строгое доказательство присутствия эффекта перераспределения в турбулентном пристеночном слое описано в работе [4], где было зафиксировано увеличение полной температуры на выходе в пограничном слое на 15 % при числе Маха выходного потока $M=3$. Разделение энергии такой же величины наблюдалось в вихревых устройствах при трансзвуковых скоростях [1, 2, 5, 6].

Создание теории эффекта Ранка являлось задачей нескольких поколений исследователей. Проблема всех полученных результатов состоит в том, что до сих пор нет согласованной теории эффекта Ранка, которая бы описывала экспериментальные результаты расчетов вихревой трубы.

В литературе обсуждается ведущий механизм перераспределения энергии в вихревой трубах. Эти обсуждения в основном связаны с фактом, что все устройства работают в условиях турбулентного потока внутри трубы. Это обстоятельство позволяет большинству исследователей сделать вывод о том, что именно турбулентность является причиной перераспределения энергии. Однако это не согласуется с экспериментальными данными [7].

С альтернативной точки зрения эффект Ранка возможно объяснить на основе понятий, подходящих как для ламинарных, так и для турбулентных течений [8], однако практических результатов в этом направлении небольшое количество. До сих пор остается открытым вопрос о необходимых условиях и возможности практического получения эффекта разделения энергии в ламинарном потоке в вихревой трубе.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию явления, связанного с формированием спиральных крупномасштабных вихрей внутри вихревой трубы [6, 9].

Экспериментальные данные подтверждают существование крупно – масштабных вихрей, позволяя создать новые модели, предназначенные для открытия возможных механизмов формирования поля скоростей и конвективных явлений, обеспечивающих эффект энергоразделения [10].

Статья демонстрирует возможность практической реализации эффекта перераспределения энергии в вихревой трубе с режимом ламинарного потока. Температурная стратификация была обнаружена, когда расчетные уравнения осесимметрично-

го движения включали в себя полные уравнения Навье – Стокса и баланса энергии.

В качестве объекта исследования выбрана противоточная ВТ цилиндрической формы диаметром 20 мм с различной длиной камеры энергоразделения. Отвод охлажденного потока осуществляется через отверстие диафрагмы с относительным радиусом $\bar{r}_d = 0,7$. Входное закручивающее устройство тангенциального типа выполнено в форме прямоугольника с относительной площадью $\bar{F}_c = 0,1$, а соотношение ширины и высоты сопла равно $b/h = 2$. Относительная длина камеры энергоразделения $\bar{l} = 9$ калибров. На выходе подогретого потока для получения наиболее эффективной конструкции установлен конус длиной 2 калибра и углом конусности $6,5^\circ$.

Для исследуемой модели была построена структурированная гексагональная сеточная модель, включающая 821163 элементов, по которой соблюдены все требуемые критерии качества: отсутствие отрицательных объемов, минимальный угол элемента не менее 20 градусов, все рядом стоящие элементы стыкуются, соотношение между рядом стоящими ячейками не превышает 1,3.

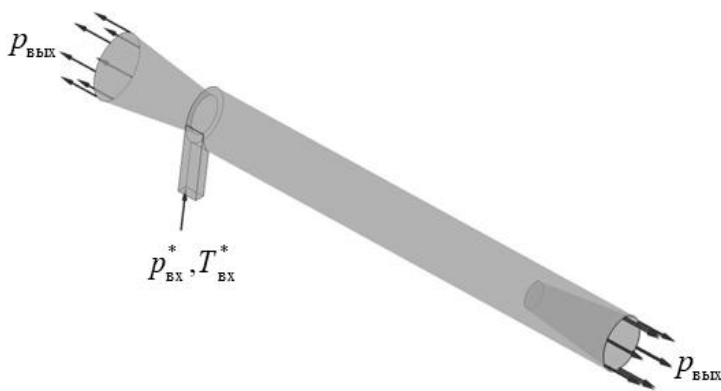


Рис. 1 – Схема приложения граничных условий

На стенках выдерживается условие «прилипания», стенки адиабатные, стационарные. Турбулентность отсутствует, так как рассматривается ламинарный поток. Расчет проводился до получения стационарного решения с величиной нормализованной

невязки 10^{-6} . В качестве рабочего тела использовалась модель идеального газа – воздуха.

Степень расширения в расчете принималась $\pi_{\text{тр}}^* = 2$.

Параметры потока на входе (рисунок 1):

– давление: $p_{\text{вх}}^* = 100, 140, 180, 200, 240, 280, 300, 340, 380, 400$ Па;

– температура торможения: $T_{\text{вх}}^* = 293$ К.

Параметры потока на выходе из диафрагмы и из кольцевого канала: $p_{\text{вых}} = 50, 70, 900, 100, 120, 140, 150, 170, 190, 200$ Па.

При анализе эффекта Ранка в рассматриваемом вихревом устройстве главное внимание уделялось воздействию давления потока во входном устройстве, а следовательно и числа Рейнольдса Re на интенсивность энергоразделения.

Число Рейнольдса рассчитывалось по формуле [11]:

$$Re = \frac{v d_{\text{тр}} \rho}{\mu},$$

где v – скорость потока,

ρ, μ – плотность и динамическая вязкость воздуха соответственно,

$d_{\text{тр}}$ – диаметр трубы.

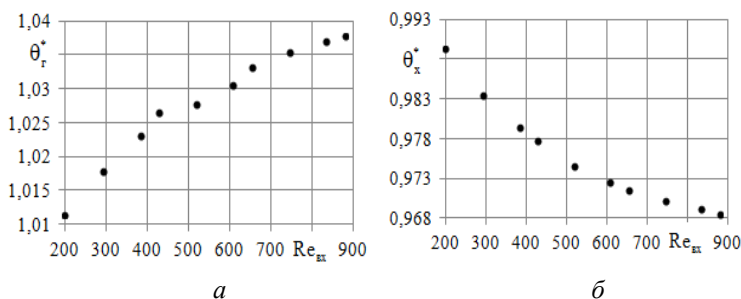


Рис. 2 – зависимость относительного эффекта подогрева θ_r^* (а) и относительного эффекта охлаждения θ_x^* (б) от числа Рейнольдса $Re_{\text{вх}}$ во входном сопле

По полученным значениям массового расхода газа в тангенциальном сопле и на "холодном" выходе, определена доля охлажденного потока μ_x , по значениям температуры подогретого и охлажденного потоков – относительный эффекты охлаждения и подогрева (рисунок 2).

Проведенные расчеты подтвердили формирование в камере энергоразделения вихревой трубы двух вращающихся в одном направлении вихрей, перемещающихся в противоположных осевых направлениях.

При давлении во входном сопле $p_{\text{вх}}^* = 100 \text{ Па}$ зона рециркуляции составляет 2 калибра, при $p_{\text{вх}}^* = 200 \text{ Па}$ – 2,9 калибра, при $p_{\text{вх}}^* = 300 \text{ Па}$ – 3,8 калибра, при $p_{\text{вх}}^* = 400 \text{ Па}$ – 4,2 калибра.

Численные расчеты позволили выявить, что перенос энергии в форме тепла в направлении, совпадающем с градиентом температуры и давления, подтверждает формирование двух вихревых закрученных течений, движущихся навстречу друг другу, с формированием крупномасштабных вихревых структур [12]. Вследствие этого получено подтверждение, что процесс энергоразделения осуществляется с помощью крупномасштабных вихрей, аналогично расчетам на турбулентных режимах, но с меньшей эффективностью.

Библиографический список

1. *Ranque G.J. Experience Sur la D'tente Giratoire Avec Productions Simultan es D'un Chappement D'air Chaud et D'un Chappement D'air Froid/ G.J. Ranque – J. Phys. Radium, 1933.*
2. *Пиралишвили, Ш. А. Вихревой эффект. Физическое явление, эксперимент, теоретическое моделирование/ Ш.А. Пиралишвили, М.: ООО «Научтехлитиздат», 2013. – 342 с.*
3. *Vulis L.A. The Stream Theory of Viscose Fluid/ L.A. Vulis, V.P. Kashkarov – M: Science, 1965.*
4. *Laderman A.J. Effect of Wall Temperature on a Supersonic Turbulent Boundary Layer/A.J. Laderman – AIAA J., 1978.*
5. *Amitani T. A Study on Temperature Separation in a Large Vortex Tube/ T. Amitani, T. Adachi, T. Kato – Trans. JSME, 1983.*
6. *Stephan K. An Investigation of Energy Separation in a Vortex Tube/ K. Stephan, S. Lin, M. Durts, F. Huang, D. Seher – Int. J. Heat Mass Transfer, 1983.*
7. *Linderstrom – Lang C.U. The Three – Dimensional Distribution of Tangential Velocity and Total Temperature in Vortex Tube/ C.U. Linderstrom – Lang – J. Fluid Mech, 1971.*

8. Goldschtick M.A. *Vortex Flows*/ M.A. Goldschtick – Novosibirsk: Science, 1981.

9. Akhmed K.M. *Development of Noncontact Methods for the Research of Swirled Flows on the Example of a Vortex Tube*/ K.M. Akhmed – Dissertation of Doctor of Technical Science, M: State Academy of Petroleum and Gas, 1993.

10. Казанцева, О.В. Численное моделирование закрученных течений в вихревых трубах./ О.В. Казанцева, Ш.А. Пиралишвили, Д.К. Василюк, А.А. Фузеева. – Минский международный форум по тепло- и массообмену. Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси, 24–28 мая 2004. – С.84.

11. Бурцев С.А. Исследование влияния диссипативных эффектов на температурную стратификацию в потоках газа (обзор)/ С.А. Бурцев, А.И. Леонтьев – ТВТ, 2014.

12. Бирюк В.В. Вихревой эффект (Технические приложения). Том 2 (часть 2)/ В.В. Бирюк, С.В. Веретенников, А.И. Гурьянов, Ш.А. Пиралишвили – М.: ООО "Научтехлитиздат", 2014 – 216 с.

УДК 735.628.277

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Попов С.В., Рогов А.Д.

Научный руководитель Соколова С.С.

Тульский государственный университет

Рассмотрены параметры отопительных систем, обеспечивающие их эффективное функционирование

Как показывает практика эксплуатации систем отопления существенными факторами, изменяющим теплоотдачу отопительных приборов по сравнению с ожидаемой, является вид отопительных приборов, способ соединения радиаторов с теплопроводами, время хранения отопительных приборов на складе до их установки. К эксплуатационным параметрам можно отнести общее состояние системы, зависящее, в частности, от живых сечений трубопроводов, наличия накипи на стенках труб и приборов, наличия окрашенных поверхностей, решеток, отра-