

УДК 662.933.2, 533.6.08

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ ТЕЧЕНИЯ В МОДЕЛИ ВИХРЕВОЙ ТОПКИ**Шадрин Е.Ю.***ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН», Новосибирск,
e-mail: evgen_zavita@mail.ru*

Выполнено физическое моделирование структуры турбулентного закрученного потока в изотермической лабораторной модели модернизированной вихревой топке конструкции ЦКТИ. Исследован способ управления аэродинамикой течения в вихревой топке за счет использования цилиндрической вставки, установленной на оси камеры сгорания. Проведены измерения поля скорости с использованием метода лазерной доплеровской анемометрии. Получено пространственное распределение осредненной скорости потока в камере сгорания исследуемой вихревой топке. Показано, что наличие цилиндрической вставки позволяет устранить малоинтенсивный потенциальный вихрь, что способствует интенсификации процесса горения. Полученные экспериментальные результаты могут быть использованы для верификации математической модели при численном решении задачи оптимизации конструкции вихревой топке с целью интенсификации процессов переноса в камере сгорания.

Ключевые слова: вихревая топка, аэродинамика, цилиндрическая вставка, лазерная доплеровская анемометрия, распределение скорости

CONTROL OF FLOW STRUCTURE IN A VORTEX FURNACE MODEL**Shadrin E.Yu.***Kutateladze Institute of Thermophysics, SB RAS, Novosibirsk,
e-mail: evgen_zavita@mail.ru*

Physical modeling of the structure of turbulent swirling flow in the isothermal laboratory model of the CBTT's vortex furnace is carried out. The method of control of the flow aerodynamics in the vortex furnace due to the use of a cylindrical insert, mounted on the axis of the combustion chamber is investigated. Velocity field measurements by using the method of laser Doppler anemometry have been performed. The distribution of the averaged flow velocity in the combustion chamber of the vortex furnace is obtained. It is shown that the presence of cylindrical insert makes it possible to eliminate the low-intensive potential vortex, which contributes to intensification of the combustion. The obtained experimental results can be used for the verification of mathematical model for the numerical solution of the optimization problem of vortex furnace construction for the purpose of transfer intensification in the combustion chamber.

Keywords: vortex furnace, aerodynamics, cylindrical insert, laser Doppler anemometry, velocity distribution

В теплоэнергетике с целью повышения эффективности процессов сжигания распыленного угольного топлива широко применяются вихревые технологии [3-4, 10]. Закрутка двухфазного потока в топочной камере приводит к его стабилизации, более однородному заполнению объема камеры, интенсификации процессов теплопереноса за счет усиления перемешивания и увеличения времени пребывания частиц топлива в камере горения, а следовательно – к уменьшению габаритов котлоагрегата. Возможность достижения заданных теплотехнических и экологических показателей при сжигании топлива в вихревом потоке в основном обеспечивается совершенством внутренней аэродинамики топочного устройства. И напротив, появление таких аэродинамических факторов, как рециркуляционные зоны и возвратные течения, прецессия вихревого ядра, эффект Коанда, может оказывать негативное влияние на протекание топочных процессов, и, соответственно, на энергоэффективность и другие по-

казатели котла. Поэтому при разработке или модернизации топочных устройств, использующих вихревую технологию сжигания, необходимо детальное изучение сложной пространственной структуры их внутренней аэродинамики.

В данной работе исследуется вихревое топочное устройство с горизонтальной осью вращения конструкции Н.В. Голованова (ЦКТИ). Результаты предыдущих работ [6-8] показали, что для данного топочного устройства характерно наличие в центральной части камеры сгорания малоинтенсивного потенциального вихря с искривленной (W-образной) формой вихревого ядра потока. Для устранения указанной особенности вихревого течения с целью повышения уровня турбулентности потока и интенсификации процесса горения в топочной камере используется конструктивное решение, предусматривающее цилиндрическую вставку, установленную на условной оси камеры сгорания и позволяющую «зафиксировать» прямолинейную ось закрученного потока.

Экспериментальные установки и методика измерений

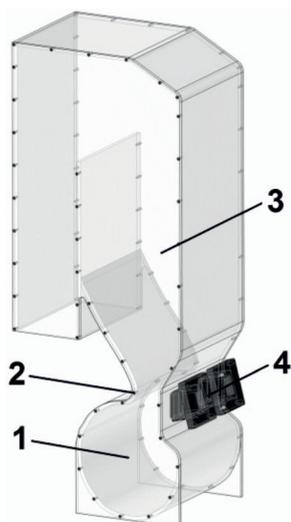
Физическое моделирование внутренней аэродинамики исследуемой вихревой топки проводилось на изотермической лабораторной модели, геометрически подобной (в масштабе 1:15) одной из секций опытно-промышленного котла ТПЕ-427 Новосибирской ТЭЦ-3 (рис. 1, а). Модель изготовлена из оргстекла и имеет следующие характерные размеры: $x_{\text{макс}} = 300$ мм, $y_{\text{макс}} = 1300$ мм, $z_{\text{макс}} = 330$ мм, отношение ширины горловины диффузора к диаметру вихревой камеры сгорания составляет $H = 0.24$. На фронтальной стенке под углом 15° к горизонту симметрично расположены два прямоугольных сопла соответствующие горелочным амбразурам.

Методика проведения экспериментов соответствовала работам [2, 5] и заключалась в следующем. Поток сжатого воздуха из магистрали подавался в модель вихревой топки через регулятор давления и ресивер с целью стабилизации расхода. Давление после регулятора контролировалось при помощи образцового манометра. До входа в модель поток воздуха засеивался частицами-трассерами (микрокапли глицерина, создаваемые дымогенератором). Для бесконтактной диагностики структуры течения применялся двухкомпонентный лазерный доплеровский анемометр ЛАД-06, разработанный в ИТ СО РАН. Число Рейнольдса, рассчитанное

по диаметру камеры сгорания, составляло $Re = 3 \times 10^5$ (при этом среднерасходные скорости на срезе каждого сопла задавались равными 15 м/с). Измерения проводились в трех сечениях XOY: возле фронтальной стенки ($z = 15$ мм), по центру сопла ($z = 80$ мм) и в плоскости симметрии ($z = 165$ мм). Измерения были проведены в узлах пространственной сетки (шаг сетки составлял 5 мм) в плоскости, перпендикулярной оптической оси лазерного блока. Для получения среднего значения компонент скорости в каждой точке было сделано по 500 измерений на компоненту. Достоверность данных, полученных на основе лазерно-доплеровской анемометрии, подтверждается сопоставлением с результатами измерений, выполненных на основе применения панорамного бесконтактного метода цифровой трассерной визуализации (PIV) [1].

Результаты измерений

В экспериментах использовались цилиндрические вставки разных диаметров (диаметр камеры сгорания модели 300 мм): 63 мм, 75 мм, 90 мм, 110 мм. На рис. 2 приведены векторные поля скорости в трех сечениях XOY при установленной вставке диаметром 63 мм. Видно, что наличие вставки устраняет потенциальный вихрь вблизи центра камеры сгорания, течение имеет выраженный кольцевой характер.



а)



б)

Рис. 1. Схема лабораторной модели вихревой топки ЦКТИ (а):
1 – камера сгорания, 2 – диффузор, 3 – камера охлаждения, 4 – сопла.
Фотография экспериментального стенда с установленной на нем ЛДА системой (б)

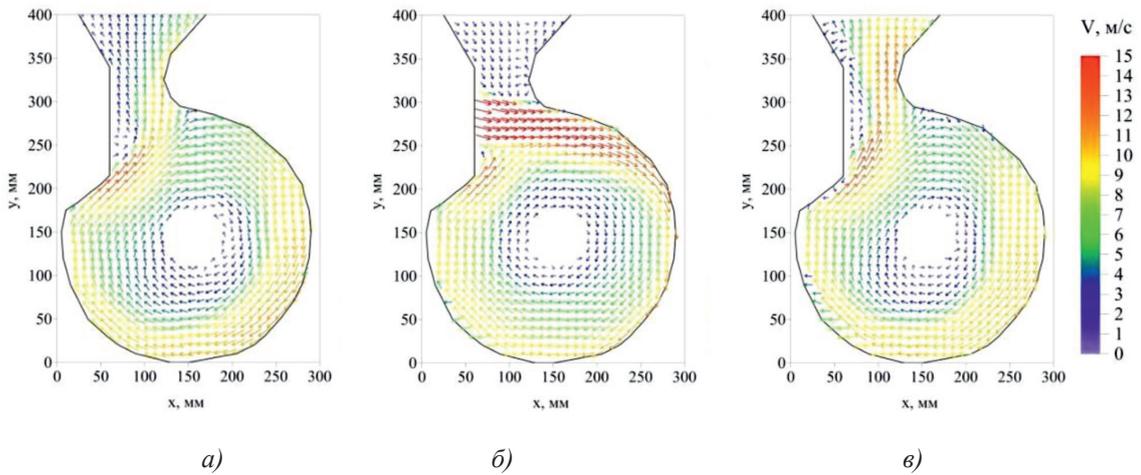


Рис. 2. Векторное поле скорости в трех сечениях XOY (диаметр 63 мм):
 а) $z = 15$ мм; б) $z = 80$ мм; в) $z = 165$ мм

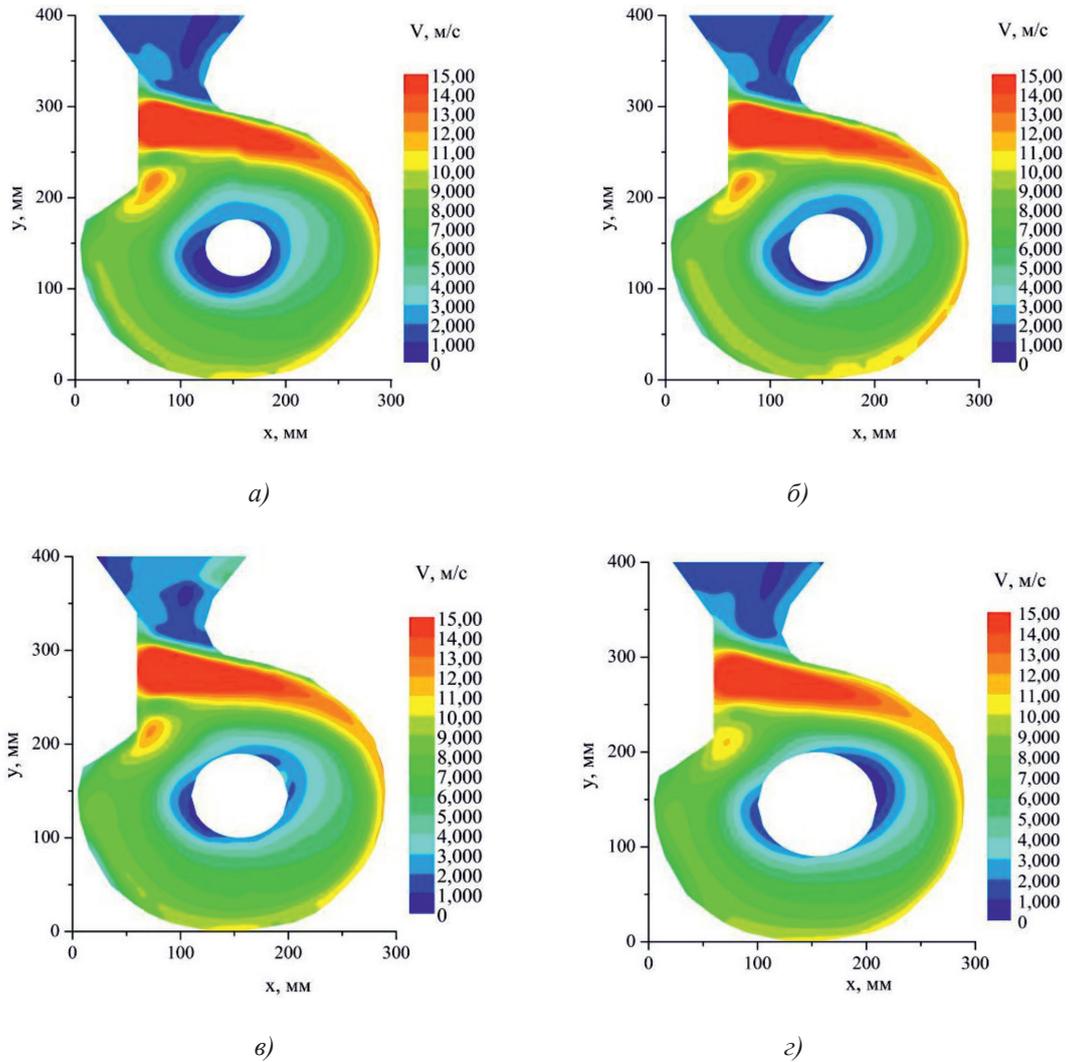


Рис. 3. Распределение модуля скорости потока ($z = 80$ мм) для вставок различного диаметра:
 а) 63 мм; б) 75 мм; в) 90 мм; г) 110 мм

На рис. 3 представлены распределения модуля скорости в сечении по центру сопла при различном диаметре цилиндрической вставки. Анализ результатов показывает, что использование цилиндрической вставки не только позволяет в принципе устранить область низкого конвективного переноса (центральная часть потока), но и существенно сказывается на распределении скорости потока. В частности, для диаметра 90 мм (рис. 3, в) наблюдается наибольшее сокращение области потока с пониженным значением модуля скорости (менее 3 м/с). Эти результаты дают основание рассматривать данный вариант конструктивного решения как наиболее оптимальный с точки зрения интенсификации процессов переноса в камере сгорания, что важно для повышения энергоэффективности вихревой топki.

Заключение

На основе проведенного экспериментального исследования можно сделать вывод о том, что применение цилиндрической вставки в камере сгорания оказывает позитивное влияние на аэродинамическую структуру течения в вихревой топке, устраняя область течения, занятую малоинтенсивным потенциальным вихрем. Повышение скорости турбулентного потока обеспечивает интенсификацию процесса горения за счет усиленного перемешивания. Полученные результаты необходимы для постановки задачи и верификации математической модели при определении оптимального диаметра цилиндрической вставки на основе вариантов численных расчетов топочных процессов [9].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-29-00093).

Список литературы

1. Ануфриев И.С. PIV исследование динамики турбулентных течений в моделях топочных устройств // Теплофизические основы энергетических технологий: сборник научных трудов IV Всероссийской научно-практической конференции / под ред. Г.В. Кузнецова, А.С. Заворина, К.В. Бувакова; Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 364 с. – С. 235-239.
2. Ануфриев И.С., Аникин Ю.А., Фильков А.И., Лобода Е.Л., Агафонцева М.В., Касымов Д.П., Тизлилов А.С., Астанин А.В., Пестерев А.В., Евтюшкин Е.В. Исследование структуры закрученного потока в модели вихревой камеры сгорания методом лазерной доплеровской анемометрии // Письма в ЖТФ. – 2012. – Т.38, вып. 24. – С. 39-45.
3. Котлер В.Р. Специальные топki энергетических котлов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 140 с.
4. Саломатов В.В. Природоохранные технологии на тепловых и атомных электростанциях. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. 853 с.
5. Саломатов В.В., Красинский Д.В., Аникин Ю.А., Ануфриев И.С., Шарыпов О.В., Энхжаргал Х. Экспериментальное и численное исследование аэродинамических характеристик закрученных потоков в модели вихревой топki парогенератора // Инженерно-физический журнал. – 2012. – Т. 85, №. 2. – С. 266-276.
6. Саломатов В.В., Шарыпов О.В., Красинский Д.В., Ануфриев И.С., Аникин Ю.А. Исследование особенностей закрученных потоков в модели вихревой топki // Теплофизические основы энергетических технологий: сборник научных трудов II Всероссийской научно-практической конференции / под ред. Г.В. Кузнецова, А.С. Заворина, К.В. Бувакова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 358 с. – С. 199-202.
7. Anufriev I., Salomatov V., Anikin Y., Krasinsky D., Sharypov O., Enkhjargal Kh. Modeling of Aerodynamics in Vortex Furnace // Cleaner Combustion and Sustainable Word. – Proceedings of the 7th International Symposium on Coal Combustion, Eds. Haiyng Qi, Bo Zhao, July 17-20, 2011, Harbin, P.R. China. – Tsinghua University Press, Beijing, 2011. – 910 p. – P. 687-693. (ISBN 10 3-642-30444-6)
8. Anufriev I.S., Salomatov V.V., Anikin Y.A., Krasinsky D.V., Sharypov O.V. Modeling of aerodynamics in vortex furnace // Seventh Mediterranean Combustion Symposium, Chia Laguna Sardinia, Italy, September 11-15, 2011. – 12 p.
9. Krasinsky D.V. Numerical modelling of the flow and combustion processes in coal-fired vortex furnace // International Review of Mechanical Engineering. – 2015. – Vol. 9, No. 5. – P. 507-516.
10. Krasinsky D.V., Sharypov O.V. Numerical modeling of pulverized coal combustion in the vortex furnace with dual upper-port loading // Journal of Engineering Thermophysics – 2015. – Vol. 24, No. 4. – P. 348-356.