

## УПРАВЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИКОЙ ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В ВИХРЕВОЙ ТОПКЕ

Ануфриев И.С.<sup>1</sup>, Аникин Ю.А.<sup>1,2</sup>, Копьев Е.П.<sup>1,2</sup>, Красинский Д.В.<sup>1</sup>, Саломатов В.В.<sup>1,2</sup>, Шадрин Е.Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, Россия (630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1), e-mail: [anufriev@itp.nsc.ru](mailto:anufriev@itp.nsc.ru)

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет" (НГУ), г. Новосибирск, Россия (630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2)

---

Выполнено физическое моделирование структуры турбулентного закрученного потока в изотермической лабораторной модели вихревой топке новой конструкции с рассредоточенным тангенциальным вводом воздушных струй. Наличие в исследуемой конструкции вихревой топке рассредоточенных по периметру горелочных струй, ориентированных в противоположных направлениях, обеспечивает гибкость управления структурой течения и режимными параметрами, а горизонтальная ось вращения потока увеличивает полноту выгорания топлива. Исследован способ управления аэродинамикой течения в вихревой топке за счет использования цилиндрической вставки, установленной на оси камеры горения. Измерения скорости течения проведены с использованием метода лазерной доплеровской анемометрии. Получено распределение средней скорости потока в объеме топке. Показано, что наличие цилиндрической вставки позволяет устранить прецессию вихревого ядра. Полученные результаты могут быть использованы для решения задачи определения оптимального диаметра вставки на основе численного моделирования топочных процессов.

---

Ключевые слова: вихревая топка, горизонтальный вихрь, аэродинамика, цилиндрическая вставка, лазерная доплеровская анемометрия

## CONTROL OF SWIRL FLOW AERODYNAMICS IN A VORTEX FURNACE

Anufriev I.S.<sup>1</sup>, Anikin Y.A.<sup>1,2</sup>, Kopyev E.P.<sup>1,2</sup>, Krasinsky D.V.<sup>1</sup>, Salomatov V.V.<sup>1,2</sup>, Shadrin E.Y.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Kutateladze Institute of Thermophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia (630090, Novosibirsk, Lavrentev av., 1), e-mail: [anufriev@itp.nsc.ru](mailto:anufriev@itp.nsc.ru)

<sup>2</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia (630090, Novosibirsk, Pirogov str., 2)

---

Physical modeling of the structure of turbulent swirling flow is carried out in the isothermal laboratory model of the vortex furnace new design with distributed tangential inlet of air jets. The presence of burner jets (in the studied design of vortex furnace), distributed along the perimeter and oriented in the opposite directions, provides the flexibility to control flow structure and regime parameters. The horizontal axis of flow rotation increases the completeness of burnup of the fuel. There is investigated 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. Flow velocity measurements have been performed using the method of laser Doppler anemometry. The distribution of the average flow velocity in the volume of furnace is obtained. It is shown that the presence of cylindrical insert makes it possible to eliminate the precession of vortex core. The obtained results can be used for the solution of the problem of determining the optimum diameter of insert on the basis of numerical simulation of furnace processes.

---

Keywords: vortex furnace, horizontal vortex, aerodynamics, cylindrical insert, laser Doppler anemometry

В теплоэнергетике с целью повышения эффективности процессов сжигания распыленного угольного топлива широко применяются вихревые технологии [1]. Закрутка потока в топочной камере приводит к его стабилизации, лучшему заполнению объема камеры, интенсификации процессов тепломассопереноса 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 показатели котла. Поэтому при разработке или модернизации топочных устройств, использующих вихревую технологию сжигания, необходимо детальное изучение сложной пространственной структуры их внутренней аэродинамики, а также всей совокупности протекающих топочных процессов, основанное, в частности, на результатах физического моделирования.

В данной работе исследуется перспективное вихревое топочное устройство новой конструкции с горизонтальной осью вращения и рассредоточенным по периметру тангенциальным вводом топливовоздушных струй (патент РФ № 2042084) [2]. Основными отличительными особенностями новой конструкции вихревой топки (по сравнению с известной конструкцией вихревой топки Н.В. Голованова [5]) является: дополнительный тангенциальный подвод топлива, расположенный в нижней части камеры сгорания, и увеличенная ширина горловины диффузора. Наличие в исследуемой конструкции вихревой топки рассредоточенных по периметру (условной окружности камеры горения) горелочных струй, ориентированных в противоположном направлении, обеспечивает гибкость управления структурой течения и режимными параметрами, а горизонтальная ось вращения потока увеличивает полноту выгорания топлива.

Результаты предыдущих работ авторов [3] показали, что наличие дополнительных (нижних) горелок позволяет эффективно управлять аэродинамикой потока, создавая более благоприятные режимы работы топки. Однако, как и в топке Голованова [5], в конструкции с рассредоточенным вводом топливовоздушных струй может проявляться такой негативный фактор, как прецессия вихревого ядра (ПВЯ) [3]. Для устранения указанной особенности вихревого течения предложено новое конструктивное решение, предусматривающее цилиндрическую вставку, установленную на условной оси камеры горения и позволяющую зафиксировать ось потока.

В данной работе, по аналогии с [3-5], с целью исследования предложенного способа оптимизации структуры течения, выполнено физическое моделирование структуры турбулентного закрученного потока в изотермической лабораторной модели вихревой топки (рис.1) с использованием метода лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА). Модель изготовлена из оргстекла толщиной 10 мм (размеры 300×1200×300 мм). Отношение диаметра

цилиндрической вставки к диаметру камеры сгорания составляет 0,37 (условный диаметр топки 300 мм). В качестве рабочей среды использовался сжатый воздух.

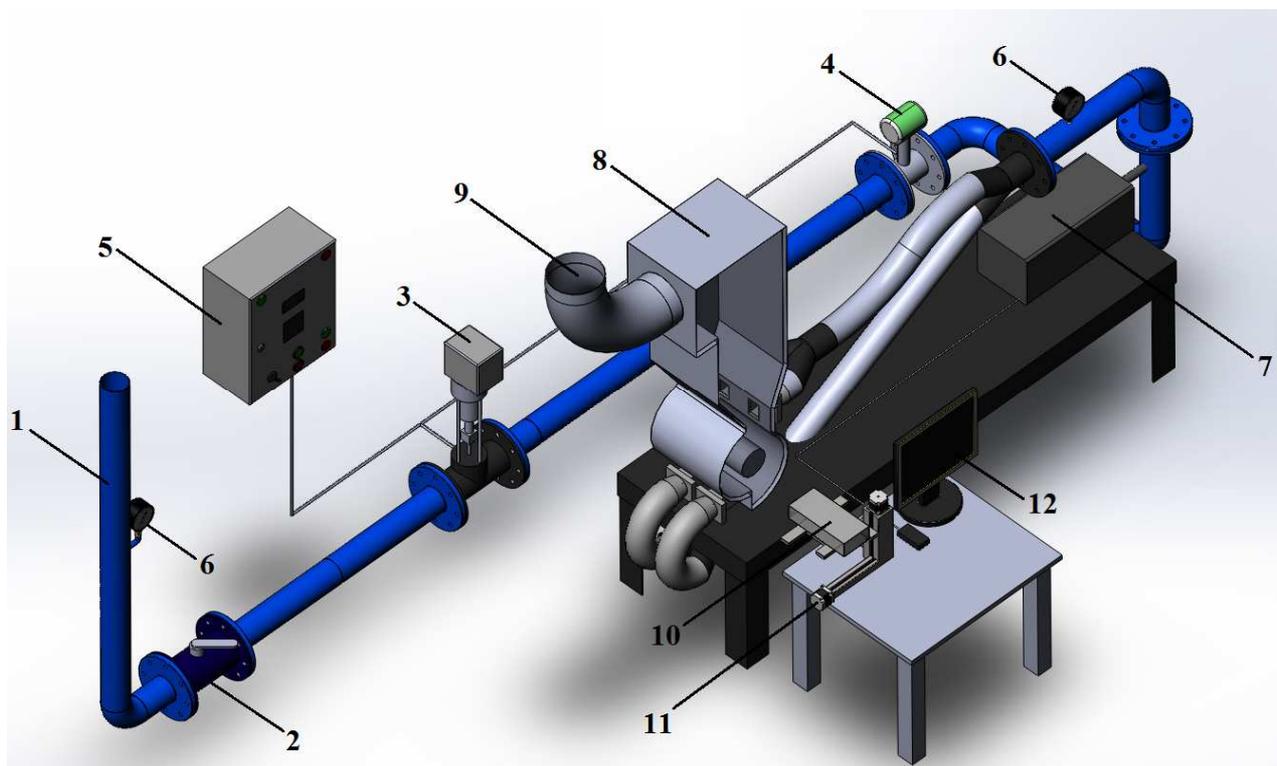


Рис.1. Схема экспериментального стенда для исследования аэродинамики в вихревой топке:  
1 – магистраль подачи сжатого воздуха; 2 – запорный кран; 3 – запорно-регулирующий клапан с электроприводом; 4 – преобразователь расхода; 5 – шкаф управления;  
6 – манометры; 7 – дымогенератор; 8 – модель вихревой топки; 9 – вентиляция; 10 – лазерная доплеровская измерительная система; 11 – координатное перемещающее устройство;  
12 – компьютер.

Для бесконтактной диагностики структуры течения применялся двухкомпонентный лазерный доплеровский анемометр ЛАД-06, разработанный в ИТ СО РАН. Описание экспериментальной установки и методики проведения ЛДА-измерений изложено в работах [3-5]. Число Рейнольдса, рассчитанное по диаметру камеры сгорания, составляло  $Re=3 \cdot 10^5$  (при этом среднерасходные скорости на срезе каждого сопла задавались равными 15 м/с). Измерения проводились в двух сечениях XOY: по центру сопла и в плоскости симметрии. Пространственный шаг сетки составлял 5 мм. Для получения среднего значения в каждой точке было сделано 2000 измерений (погрешность измерения средней скорости – не более 2%).

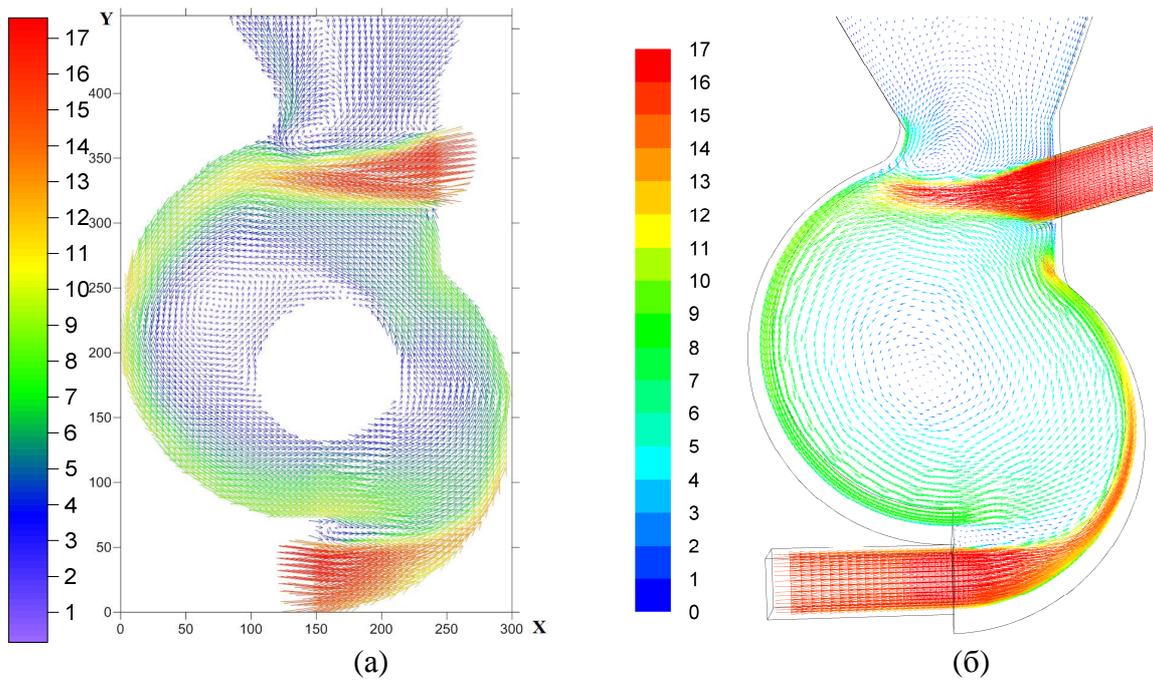


Рис.2. Векторное поле скорости в сечении по центру горелки (м/с):  
 (а) с цилиндрической вставкой; (б) без вставки [3].

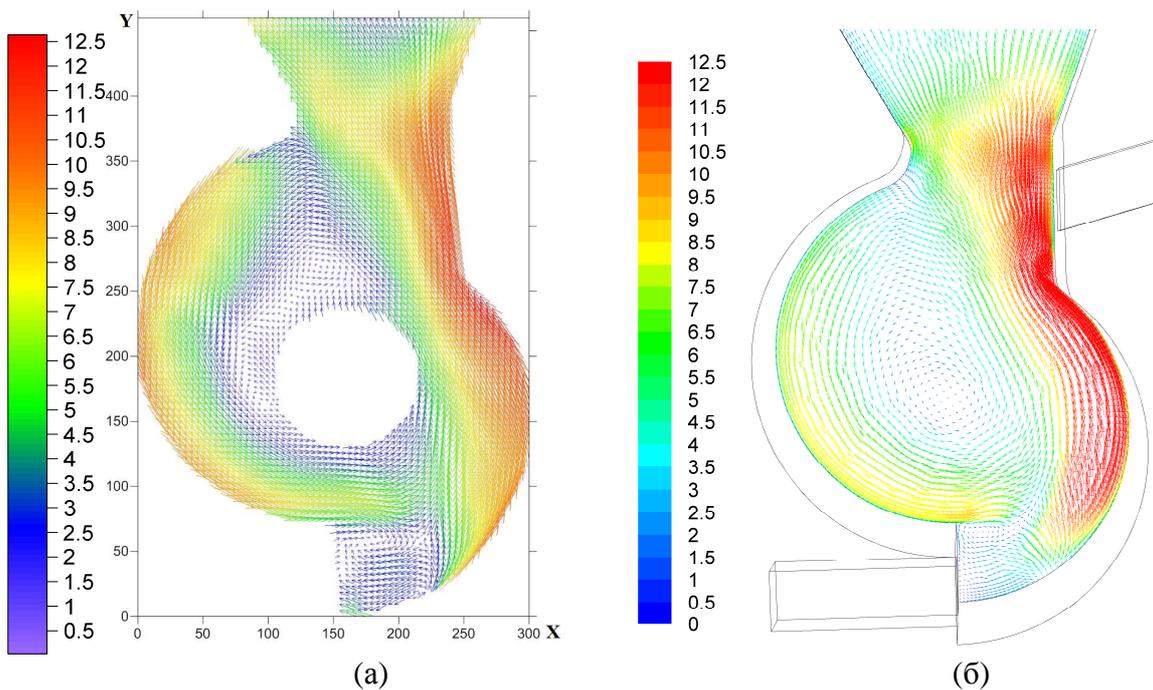


Рис.3. Векторное поле скорости в плоскости симметрии (м/с):  
 (а) с цилиндрической вставкой; (б) без вставки [3].

Результаты измерений модуля средней скорости представлены на рисунках 2-а, 3-а. Векторные поля средней скорости построены в пакете Surfer. Для сравнения на рисунках 2-б, 3-б приведены результаты численного 3-D моделирования изотермического течения,

проведенного для таких же входных условий и геометрии лабораторной модели топки, но без цилиндрической вставки [3] (методика расчетов описана в [3]). Анализ полученных результатов показывает, что при наличии цилиндрической вставки ПВЯ не наблюдается. В сечении по центру сопла (рис.2-а) слева от цилиндрической вставки возникает дополнительный вихрь. Кроме этого, в плоскости симметрии между соплами (рис.3-а) над цилиндрической вставкой имеет место незначительная закрутка потока, а слева от цилиндра присутствуют противотоки, вызванные перераспределением течения вдоль оси  $z$ . В остальном структуры потоков различаются незначительно.

На основе проведенного экспериментального исследования можно сделать вывод о том, что применение цилиндрической вставки оказывает позитивное влияние на аэродинамическую структуру течения в вихревой топке, предотвращая возможную низкочастотную прецессию вихревого ядра закрученного потока, негативно влияющую на стабильность процесса горения. Полученные результаты позволяют поставить задачу определения оптимального диаметра цилиндрической вставки на основе вариантных численных расчетов топочных процессов.

*Исследования выполнены при поддержке РФФИ (гранты №№ 12-08-31004-мол\_а, 13-08-90700-мол\_рф\_нр), Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 8187) и Стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-987.2012.1.*

### Список литературы

1. Саломатов В.В. Природоохранные технологии на тепловых и атомных электростанциях / В.В. Саломатов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 853 с.
2. Патент РФ № 2042084, 20.08.1995.
3. Физическое и численное моделирование внутренней аэродинамики вихревой топки с рассредоточенным вводом горелочных струй / Ю.А. Аникин [и др.] // Вестник Новосиб. гос. ун-та. Сер.: Физика. – 2013. – Т. 8, вып. 2. – С. 86-94.
4. Экспериментальное исследование структуры закрученных потоков методом лазерной доплеровской анемометрии / И.С. Ануфриев [и др.] // Вестник Томского гос. ун-та. Математика и механика – 2011. – вып. 2 (14). – С. 70–78.
5. Экспериментальное и численное исследование аэродинамических характеристик закрученных потоков в модели вихревой топки парогенератора / В.В. Саломатов [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2012. – Т. 85, № 2. – С. 266-276.

### Рецензенты:

Шарыпов О.В., д.ф.-м.н., профессор, ФГБОУ ВПО "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет" (НГУ), г.Новосибирск.  
Меледин В.Г., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), г.Новосибирск.