

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ
КАМЕРЫ ГОРЕНИЯ**

Кудряшова Л.Д., Соболева А.В., Хаустов С.А.

Научный руководитель: Буваков К.В., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: khaustovsa@tpu.ru

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS OF CYLINDRICAL COMBUSTION CHAMBER

Kudryashova L.D., Soboleva A.V., Khaustov S.A.

Scientific Supervisor: PhD in technical science, docent Buvakov K.V.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: khaustovsa@tpu.ru

Основной задачей разработки рациональных топочных камер для котлов является организация смешения горючего с окислителем и обеспечение полного сгорания топлива в пределах топочной камеры котла. При этом отдельное внимание следует уделять аэродинамическим процессам перемешивания непосредственно в топочном объеме, т. к. при оптимальной организации топочной аэродинамики обеспечивается устойчивость горения, поддерживаются требуемые скорости и температуры среды, снижается уровень выбросов токсичных веществ. Поэтому одной из главных задач при проектировании жаротрубных котлов является улучшение аэродинамических характеристик. Особенно это актуально для тупиковых топок, где аэродинамика факела с реверсивным течением структурно значительно сложнее проточной организации, т. к. представляет собой встречное движение горелочной струи и пристеночного течения дымовых газов [1, 2].

Авторы [1, 2] на основе численного эксперимента приходят к выводу, что в жаровых трубах котлов за горелкой возникают зоны разряжения, что приводит к интенсивному вихреобразованию в виде циркулирующего у сопла горелки течения горячих продуктов сгорания. Другими словами, в фронтальной части камеры горения на границах факела можно выделить турбулентную зону интенсивных обратных токов. Пространственно эта зона имеет геометрическую форму тора и по сути является единым вихрем, вращение которого происходит вокруг центральной оси топки.

Тороидальный вихрь – явление, при котором циркуляционное движение жидкости или газа принимает форму тороида. Тороидальные вихри были впервые математически проанализированы немецким физиком Германом фон Гельмгольцем [3]. В жаровых трубах котлов вихревые кольца возникают в результате внедрения быстро движущейся горелочной струи в почти неподвижную массу продуктов сгорания. Вязкое трение между двумя средами замедляет границы потока топливовоздушной смеси относительно его ядра. Высокая скорость движения ядра потока, в свою очередь, приводит к низкому статическому давлению у фронта котла, благодаря чему продукты сгорания огибают горелочную струю и собираются у устья горелки, откуда увлекаются за потоком в зону пониженного статического давления. В конечном итоге образуется тороидальный вихревой поток. Натурные многофакторные исследования описанной вихревой аэродинамики, связанные с экспериментальным изучением трехмерного турбулентного факела являются трудозатратными. Поэтому для решения комплексных задач проектирования топок на основе оптимизации их аэродинамики признанным инструментом является математическое моделирование с использованием как оригинальных, так и широко апробированных пакетов прикладных программ [1]. К примеру, численное исследование сжигания в турбулентном вихревом потоке проведено в работах [2, 4–6].

Цель данной работы – моделирование турбулентного горения природного газа в жаровых трубах котлов различной конфигурации. Предметом исследования является аэродинамическая структура в жаровой трубе и комплекс ее количественных параметров, среди которых пространственные температурные поля и скорости течения среды.

Расчеты выполнялись методом конечных элементов с использованием пакета прикладных программ ANSYS FLUENT на основе законов сохранения и неразрывности потока. Моделирование характеристик турбулентности произведено с применением $k-\epsilon$ модели в её стандартной реализации. Для симуляции окисления горючего в турбулентной реагирующей среде использовалась комбинация моделей Сполдинга (Eddy-Break-Up) и Аррениуса. Расчёт теплообмена излучением выполнялся на основе метода сферических гармоник в первом приближении (т.н. P1-модель), который имеет приемлемую точность при моделировании излучения в задачах моделирования камер горения энергоустановок [6, 7].

Использование вихревых горелочных устройств интенсифицирует горение и позволяет вести процесс при меньших избытках воздуха, однако увеличивает аэродинамическое сопротивление топки в сравнении с прямоточной организацией топливоподачи. Количественно интенсивность завихрения потока оценивается параметром крутки n , который определяется по полям скоростей и давлений топочной среды.

При вихревой подаче топливовоздушной смеси ядро горения смещается в фронтальную часть жаровой трубы (рис. 1). При этом газы в зоне рециркуляции не вовлекаются в стационарно-замкнутое циркуляционное движение, а движутся внутри вихря по конечным спиральным траекториям вплоть до выхода из топочной камеры. Это позволяет интенсифицировать воспламенение и уменьшить длину факела, но влечет за собой увеличение локальных тепловых потоков, что является фактором роста генерации оксидов азота.

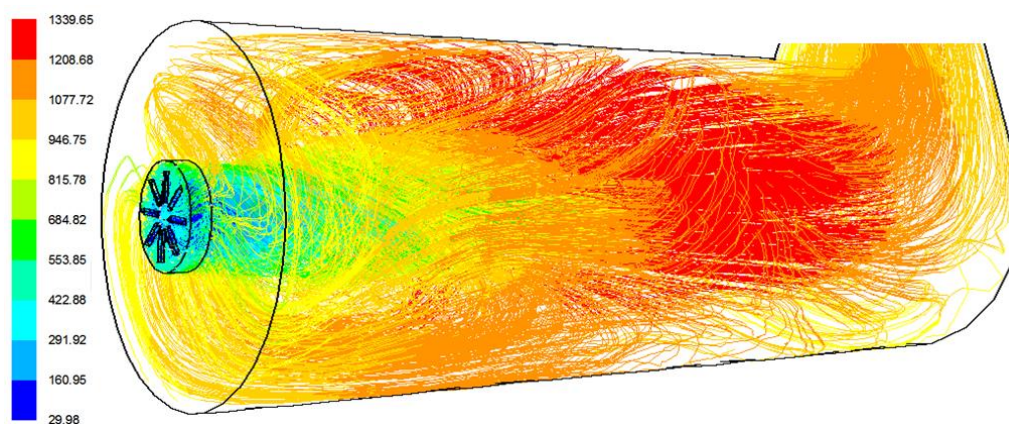


Рис. 1. Линии тока в проточной жаровой трубе с вихревым горелочным устройством с цветовой индексацией по температуре топочной среды

По результатам компьютерной симуляции с увеличением параметра крутки максимальная температура в ядре факела возрастает, а его положение смещается к фронту котла. С одной стороны, увеличение температуры горения интенсифицирует теплообмен излучением, с другой стороны, рост тепловосприятия при закрученном потоке характерен только для жаровых труб проточной конструкции. В жаровых трубах тупиковой конструкции, в свою очередь, смещение факела к фронту котла влечет за собой увеличение температуры уходящих из топки дымовых газов. В работах [4, 5] показано, что вариант жаровой трубы без закрутки потока характеризуется наименьшей температурой продуктов

сгорания на выходе из топки, и, следовательно, обладает наибольшим тепловосприятием.

Кроме того в ходе серии численных расчетов установлено, что высокие значения параметра крутки в реверсивном факеле сопровождаются отрывом потока от центральной оси горелки и появлением обширной зоны обратных токов, что приводит к преждевременному развороту факела с последующим его набросом на стенки жаровой трубы (рис. 2). При этом вследствие прерывания реакции горения на стенках имеет место недожог горючих газов, унос их в конвективную часть котла и в атмосферу. Это приводит к снижению эффективности, надежности и экологичности работы котла.

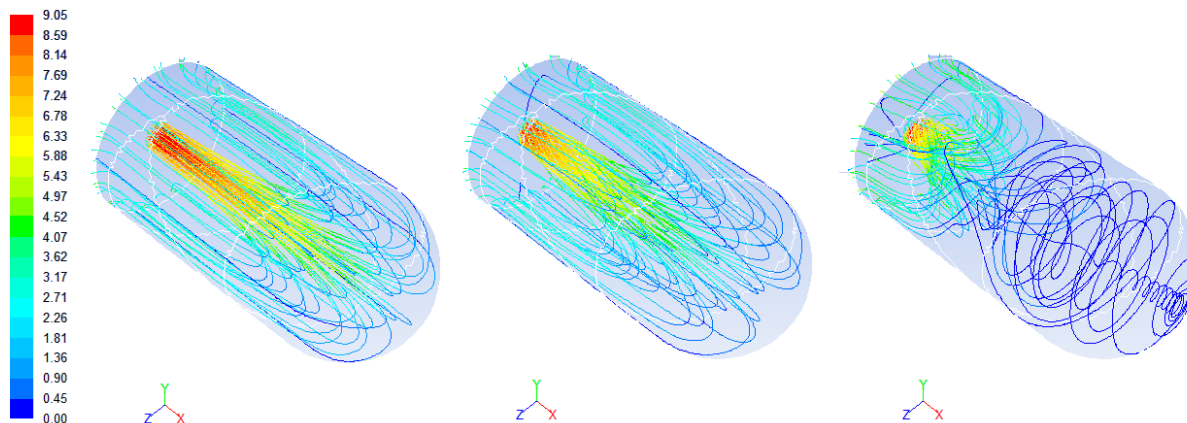


Рис. 2. Линии тока в тупиковой жаровой трубе с цветовой индексацией по скорости течения топочной среды (слева на право приводятся варианты с прямоточной, слабо закрученной и сильно закрученной подачей топливовоздушной смеси)

Работа выполнена в рамках НИР (тема 13.948.2014/К).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хаустов С.А., Заворин А.С. Современные тенденции проектирования жаротрубных котлов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/988>. – 15.05.15.
2. Хаустов С.А., Заворин А.С. Дальнобойность факела в жаровых трубах котлов // Промышленная энергетика. – 2014. – № 10. – С. 16–20.
3. Moffatt K. Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen // IUTAM Symposium on Hamiltonian Dynamics, Vortex Structures, Turbulence (IUTAM Bookseries Vortex Dynamics). – 2008. – № 6. – P. 1–10.
4. Хаустов С.А., Заворин А.С. Аэродинамическая структура топочной среды в жаровых трубах с реверсивным факелом // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – Т. 92. – № 6. – С. 63–67.
5. Хаустов С.А., Заворин А.С. Численное исследование аэродинамики жаротрубной топки с реверсивным факелом // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 5–8.
6. Хаустов С.А., Заворин А.С. Численное исследование аэродинамики топочной среды в жаротрубном котле типа «Турботерм» // Промышленная энергетика. – 2014 – № 1. – С. 11–14.
7. Тайлашева Т.С. Моделирование топочной среды в котле типа ДКВР при сжигании природного газа // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 4. – С. 42–47.