

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТОПКЕ
ЖАРОТРУБНОГО КОТЛА ТИПА «ТУРБОТЕРМ»**

Хаустов С.А.

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: khaustovSA@tpu.ru

Системы автономного теплоснабжения на базе жаротрубных котлов малой мощности в настоящее время находят широкое применение. Коэффициент полезного действия таких котлов при сжигании газа, как правило, достигает 90–95 %, при этом они обладают лучшей ремонтно-пригодностью, полностью автоматизируемы и стоят значительно дешевле своих водотрубных аналогов.

Однако практика конструирования жаротрубных котлов до сих пор не имеет четкой нормативно-расчетной базы. Расчеты таких котлов по нормативному методу [1] дают недопустимо большую погрешность, поскольку метод разрабатывался для расчетов крупных (энергетических) котельных агрегатов и базируется на задании ряда эмпирических поправок, наработанных только для соответствующих типов котлов.

Ввиду отсутствия единой методики расчета для решения задач конструирования жаротрубных котлов все чаще применяется математическое моделирование. Данная работа посвящена численному моделированию турбулентного диффузионного факела метано-воздушного пламени в жаровой трубе котла Турботерм-500 (ЗАО Ремэкс). Расчетным путем определена структура факела, получены расчетные поля средних скоростей, температур и концентраций компонентов. Исследования проводились в пакете прикладных программ ANSYS. Достоверность математической модели подтверждена натурными испытаниями [2].

Рассматриваемый отечественный жаротрубный котел Турботерм-500 (ТТ-500) спроектирован ООО «Рэмэкс» на номинальную мощность 500 кВт. Конструктивная схема с газоздушным трактом котла приведена на рисунке 1. Длина топки исследуемого котла по центральной оси от устья горелки до днища – 1800 мм, диаметр жаровой трубы – 884 мм.

Котел имеет тупиковую жаровую топку 1, в тыльной части которой происходит разворот факела на 180 градусов по направлению к передней крышке котла 8. Далее, двигаясь по периферии топочной камеры, продукты сгорания поступают в поворотную камеру 3, где вновь разворачиваются на 180 градусов и направляются в дымогарные трубы 4, погруженные в водяной объем 7. Двигаясь внутри труб, продукты сгорания поступают в сборный дымовой короб 5, оттуда в газоход и дымовую трубу.

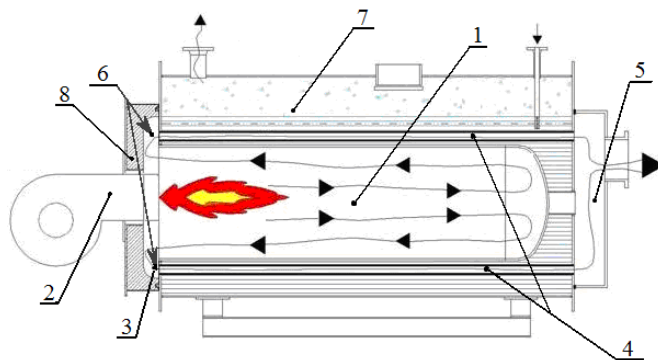


Рис. 1. Конструктивная схема жаротрубного котла:

1 – жаровая топка; 2 – горелка; 3 – поворотная камера; 4 – конвективный пучок дымогарных труб; 5 – сборный дымовой короб; 6 – точки замера температуры (места установки термомпар); 7 – водяной объем; 8 – крышка

Топка исследуемого жаротрубного котла находится под наддувом с расчетным давлением 200 Па, которое позволяет преодолеть аэродинамическое сопротивление газового тракта внутри котла. Топливоздушная смесь в топку поступает за счет дутья, создаваемого вентилятором, встроенным в горелочное устройство 2.

Для численного исследования к рассмотрению принята полная геометрическая модель топки, включая канал горелки и поворотную камеру на входе в конвективный пучок котла. Построение расчётной сетки выполнено средствами ANSYS Workbench на основании чертежей котла. Так как влияние параметра крутки на теплообмен в реверсивном факеле незначительно [2], то для упрощения расчетов рассматривались варианты с прямоточной подачей топливоздушной смеси.

Методом конечных элементов моделировались следующие процессы и явления: горение метана в кислороде воздуха, турбулентность в реагирующей среде, конвективный и лучистый теплообмен. Моделирование газовой фазы проводилось в приближении Эйлера. Расчёт лучистого теплообмена выполнялся методом сферических гармоник в 1 приближении (т. н. P_1 – модель). Дифференциальные уравнения, используемые данной моделью радиационного теплопереноса, приведены в [3].

Полагалось, что окисление горючего (чистый метан) протекает необратимо и в две стадии: $2\text{CH}_4 + 3\text{O}_2 = 2\text{CO} + 4\text{H}_2\text{O}$; $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$.

Использовалась модификация RNG k-ε модели турбулентности, хорошо зарекомендовавшая себя в задачах с сильной кривизной линии тока. Данная модель справедлива для полностью развитого турбулентного течения, т. е. для высоких чисел Рейнольдса, когда прямое влияние вязкости на структуру турбулентности пренебрежимо мало.

В качестве исходных данных для расчета принималось: топливо – метан (100 %); окислитель – кислород воздуха; теоретически необходи-

мый объем воздуха для полного сгорания $9,52 \text{ м}^3/\text{м}^3$; коэффициент избытка воздуха 1,03; массовый расход топливовоздушной смеси 0,2 кг/с; её температура $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (равна температуре воздуха в помещении котельной); средняя температура теплоносителя $92,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

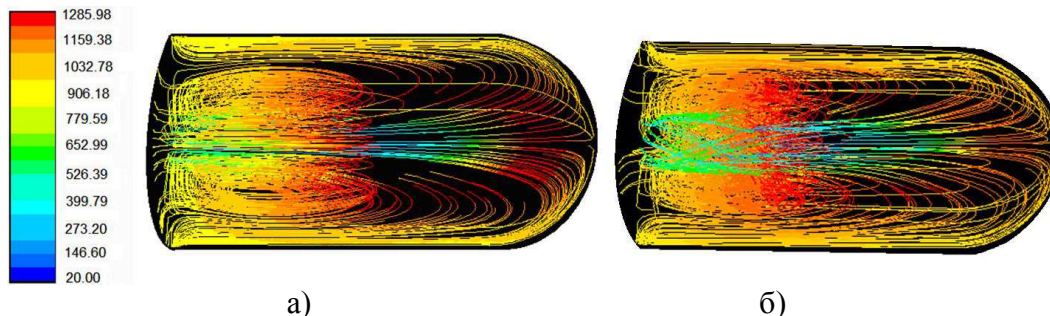


Рис. 2. Линии тока с цветовой индексацией по температуре топочной среды:
а – прямоточная горелка; б – вихревая горелка

По результатам численного эксперимента можно заключить, что протекающие в топке исследуемого котла процессы осесимметричны относительно центральной оси горелки. Линии тока топочной среды (см. рис. 2) показывают, что топочная среда дважды меняет направление своего движения. Сначала свежая топливовоздушная смесь, двигаясь по направлению к тыльной части топки, разогревается, воспламеняется и сгорает; затем продукты сгорания направляются от центра топочной камеры к её периферии, и, наконец, дымовые газы вдоль стенки жаровой трубы возвращаются к фронту котла, где покидают топочную камеру.

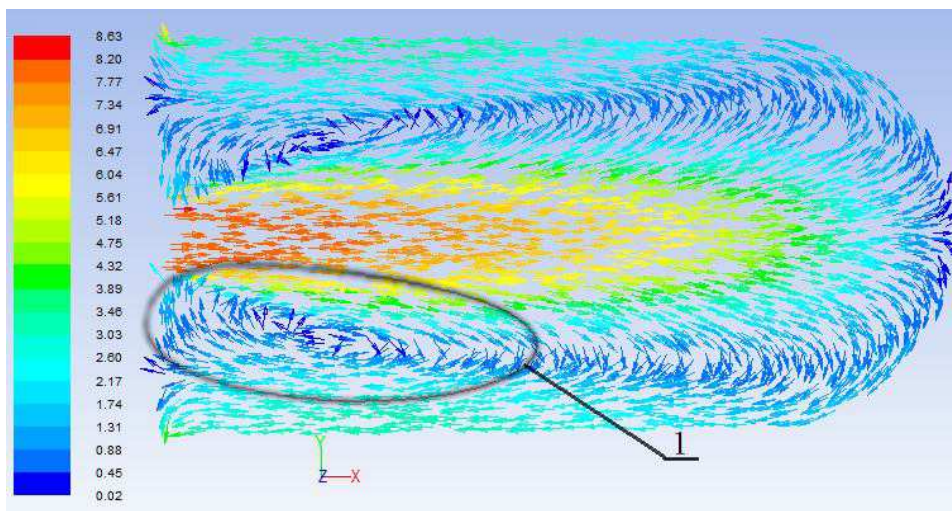


Рис. 3. Векторное поле скоростей топочной среды с цветовой индексацией по значениям скорости (м/с):
1 – зона рециркуляции части продуктов сгорания

В пристеночной зоне топки горячие продукты сгорания совершают первый ход в котле, проходя по периферии жаровой трубы от тыла к фронту. Толщина пристеночного потока дымовых газов в топке исследуемого котла составляет 130–135 мм. Принято считать днище топки точкой разворота пламени и началом первого хода дымовых газов. Однако линии тока (см. рис. 2) и векторное поле скоростей (см. рис. 3) топочной среды показывают, что разворот продуктов сгорания идет по всей длине факела.

При резком изменении площади сечения на входе в топочную камеру образуются зоны с отрицательным давлением, что приводит к образованию вихрей раскаленных топочных газов, рециркулирующих к устью горелки. Так, к примеру, на рисунках 2, 3 можно заметить, что часть дымовых газов после разворота не покидает топку, а возвращается к горелке и перемешивается со свежей, поступающей в топку топливовоздушной смесью. Таким образом, в топках с реверсивным факелом с наружной образующей топливовоздушной струи имеется зона рециркуляции части продуктов сгорания к корню факела. В плоскости осевого сечения жаровой трубы эта зона представлена эллиптическими вихрями по обе стороны от факела (см. рис. 3, обозначение 1). В пространстве же это единый вихрь тороидальной формы, ось вращения которого совпадает с центральной осью горелки (см. рис. 4).

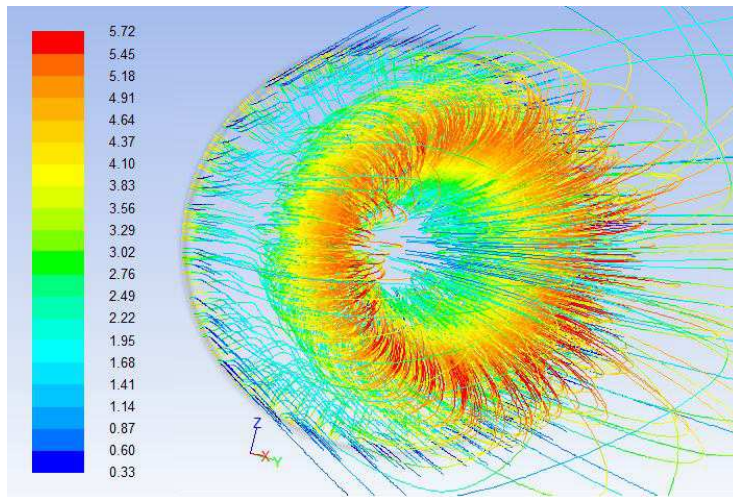


Рис. 4. Пространственное изображение линий тока в зоне рециркуляции с цветовой индексацией по кинетической энергии турбулентности ($\text{м}^2/\text{с}^2$)

Топочная среда в зоне рециркуляции состоит из горячих продуктов сгорания: углекислый газ, азот и его оксиды, водяные пары. Их температура близка к температуре в ядре факела и значительно превышает $1000\text{ }^\circ\text{C}$. Поэтому свежая топливовоздушная смесь, смешиваясь с рециркулирующими газами, почти сразу нагревается до $270\text{ }^\circ\text{C}$. Частота

вращения рециркулирующего к устью горелки вихря около 2,5 оборотов в секунду. Массовый расход газов в вихре составляет 0,057 кг/с, что составляет около 30 % массы поступающей через горелку топливовоздушной смеси.

Список литературы:

1. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб: Изд. НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Хаустов С.А., Заворин А.С., Фисенко Р.Н. Численное исследование процессов в жаротрубной топке с реверсивным факелом // Известия Томского политехнического университета – 2013. – № 4. – С. 43–47.
3. Тайлашева Т.С. Моделирование топочной среды в котле типа ДКВР при сжигании природного газа // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 4. – С. 42–47.

УДК 662.815.4

ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА БИОМАССЫ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Табакаев Р.Б., Казаков А.В., к.т.н., Баскакова А.С., Уваров Е.А.

Томский политехнический университет, г Томск

E-mail: TabakaevRB@tpu.ru

Современный взгляд на развитие энергетической отрасли направлен в сторону постепенного увеличения доли возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе: более чем в 73 странах мира приняты программы государственного масштаба по вовлечению ВИЭ в топливно-энергетический баланс [1]. В свою очередь Правительство РФ разработало Федеральный закон «Об электроэнергетике» (№ 250-ФЗ от 18 октября 2007 г.) [2] и «Стратегию развития энергетики России на период до 2020 г.» [3], согласно которым предписано до конца 2020 года ввести в эксплуатацию энергетические установки на ВИЭ мощностью более 20 ГВт.

В рамках настоящей работы рассмотрен один из видов ВИЭ – органическая биомасса. Использование биомассы в энергетических целях в качестве топлива затруднено из-за высокой влажности и низкой теплоты сгорания, что делает традиционное прямое её сжигание в существующем котельном оборудовании малоэффективным и нецелесообразным.

Перспективным видится теплотехнологическая переработка биомассы в облагороженные продукты: высококалорийный водородсодержащий газ или брикетное топливо. Однако о возможности и целесообразности такой переработки можно судить только тогда, когда имеются данные о материальном балансе, характеристиках исходных и конечных продуктов.