

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В ВОДОГРЕЙНОМ КОТЛЕ С ЭКРАННО-КОНВЕКТИВНЫМИ СЕКЦИЯМИ

В.М. КАРАВАЙКОВ, Н.В. КИСЕЛЕВ, А.В. ШИПОВ

Костромской государственной технологической университет

В данной работе рассматриваются результаты компьютерного моделирования процессов теплообмена в топке водогрейного котла с новой конструкцией экранно-конвективных секций в топочной камере.

Ключевые слова: водогрейный котел, конструкция с экранно-конвективными секциями, компьютерное моделирование.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что в последнее время резко возрос интерес к применению методов вычислительной гидродинамики (CFD) и реализующих их программ для разработки эффективных методов сжигания топлива в теплогенерирующих установках, с моделированием процессов горения, конвективного и радиационного теплообмена в топочной камере. Результатами моделирования являются поля температур, скоростей, концентраций топлива и продуктов сгорания, тепловые потоки через поверхности теплообмена [1].

В данной работе рассматриваются результаты моделирования процессов теплообмена в топке водогрейного котла в среде ANSYS CFX 11.0 и производится предварительная оценка эффективности новых конструктивных решений.

Отметим, что особенностью предлагаемой конструкции котла является частичное совмещение функций экранных труб и конвективного пучка [2]. Поверхность теплообмена состоит из концентрических трубок, причем вода циркулирует в межтрубном пространстве, а по центральной полости движется горячие газы (рис. 1) [2]. Котел содержит стальные секции, состоящие из боковых элементов, соединенных с помощью сварки. Количество секций подбирается по длине на необходимую поверхность нагрева. Стальные секции выполнены сварными из унифицированных стальных элементов и соединяются коллекторами обратной и греющей воды. Одна секция имеет две поверхности нагрева: внутреннюю – конвективную и наружную – радиационно-конвективную. Число секций котла, пространственная конфигурация секции, количество секций подбирается исходя из требуемой мощности котла. Новая конструкция позволяет многократно расширить диапазон котла по мощности, при этом только 1-4% поверхности элементов не участвует в теплообмене, остальные поверхности активно омываются топочными газами, увеличивая поверхность нагрева. Это дает возможность эффективнее использовать топочное пространство и, следовательно, уменьшить габариты котла.

При компьютерном моделировании геометрическая модель топки состояла из 5 экранно-конвективных секций и включала 4 твердых тела (полости топки, воды, стенок труб, коллектора дымовых газов), которые в дальнейшем образовывали домены в ANSYS CFX.

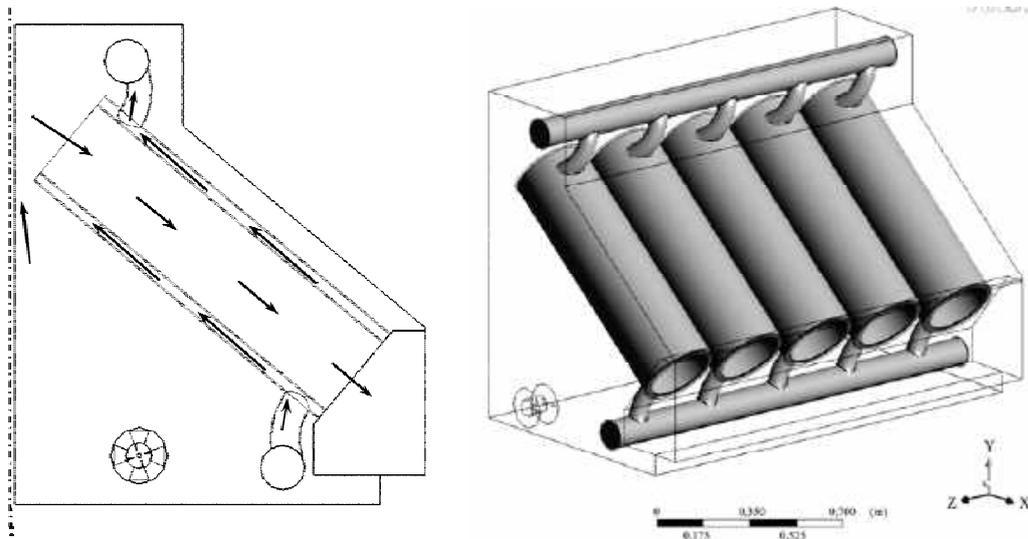


Рис. 1. Экранно-конвективные секции

Сетка создавалась в автоматическом режиме с минимальным размером элемента 4 мм, максимальным – 40 мм. Общее число элементов сетки 2060000, показатель качества – не хуже 0,3. Фрагмент сетки показан на рис. 2.

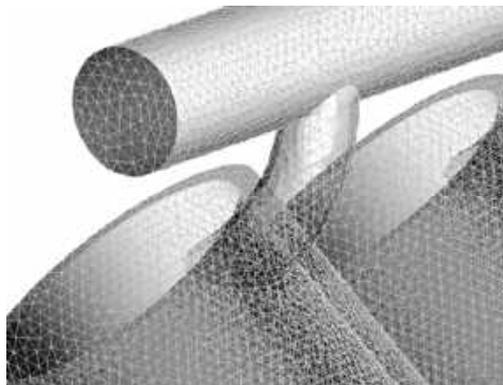


Рис.2. Фрагмент конечно-элементной сетки области течения воды

В качестве модели турбулентности принималась стандартная k-Epsilon модель, лучистый теплообмен моделировался по методу Монте-Карло.

В качестве топлива принят метан, горелка вихревого типа с принудительной подачей воздуха. Модель горения – Eddy Dissipation, согласно которой скорость горения лимитируется временем перемешивания горючего и окислителя, зависящим от турбулентной кинетической энергии и скорости ее диссипации.

Поскольку задача оптимизации сжигания топлива не рассматривалась, список реакций, протекающих в смеси метана с воздухом, соответствовал схеме Methane Air WD1 NO PDF, предполагающей полное сгорание газа.

В качестве граничных условий задавались скорости и температуры сред на входе в горелку и водяной коллектор, а также нулевые избыточные давления на выходе. На твердых стенках задавалось условие прилипания и степень черноты поверхности 0,9.

Массовый расход метана в горелке 0,0453 кг/с, воздуха 0,820 кг/с, коэффициент избытка воздуха 1,05. Плотность метана при нормальных условиях 0,714 кг/м³, теплотворная способность 35,9 МДж/м³. Объемный расход метана через горелку $0,0453/0,714 = 0,0634$ м³/с, ее тепловая мощность 2,28 МВт.

При указанных исходных данных вода нагревается от 343 К (70 °С) до 374,9 К (101,7 °С) при расходе 9,395 кг/с, разность тепловых потоков воды на выходе и входе 1,243 МВт, что составляет 54,5% от теплоты сгоревшего топлива.

В результате расчета и обработки результатов установлено, что тепловой поток через поверхность нагрева составляет 1,281 МВт, в том числе конвективный 0,319 МВт, лучистый 0,998 МВт (небольшой дисбаланс обусловлен погрешностью сеточного решения).

Средняя температура поверхности нагрева составила 1349 К.

Тепловой поток, уносимый газами в дымоход, оказался равным 1,51 МВт, средняя температура на выходе из дымохода 1229 К при максимальной температуре в топке 2188 К.

Состав дымовых газов: CO₂ – 14,38%, O₂ – 1,08%, H₂O – 11,8%, NO – 0,000245%.

Давление воздуха на входе 9220 Па, давление газа 5032 Па, гидравлическое сопротивление водяного тракта 993 Па.

Распределение температуры в сечении топки показано на рис. 3. Анализ показывает, что температура в газоходах падает в среднем на 158 К.

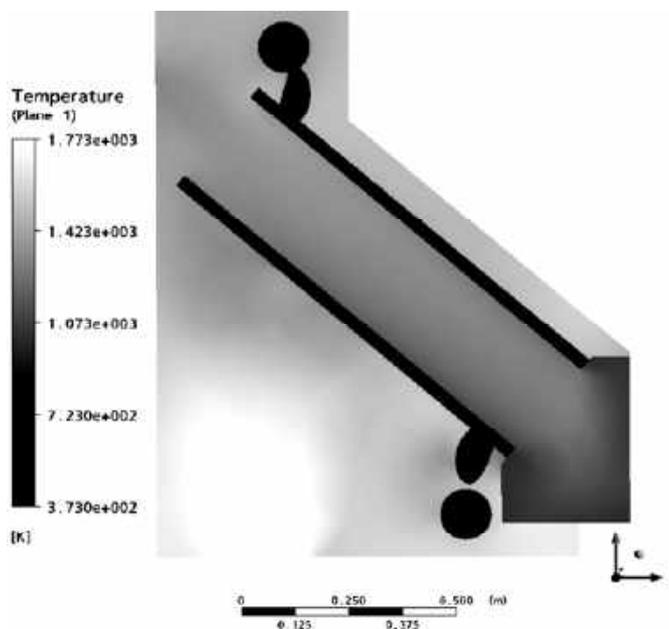


Рис. 3. Распределение температуры в среднем сечении топки

Для сравнительной оценки эффективности котла производились аналогичные расчеты для топки котла той же геометрии, вся внутренняя поверхность которого (7,1 м²) представляла собой экран (в предлагаемой конструкции площадь поверхности теплообмена составляла 10 м²). Согласно расчетам, в этом случае экран получает лишь 41,6% теплоты сгоревшего топлива, а температура газов на выходе из топки составляет 1433 К.

Таким образом, полученные данные показывают, что использование экранно-конвективных секций увеличивает утилизацию тепла топлива непосредственно в топочной камере за счет повышения эффективной поверхности теплоотдачи, что позволяет повысить теплопроизводительность котельной установки за счет увеличения поверхности нагрева. При этом уменьшается объем и вес котла, расширяется диапазон котельной установки с увеличенной конвективной поверхностью нагрева по мощности. Повышается КПД на 15-20% за счет увеличения поверхности нагрева, достигается экономия топлива на 15-20%.

Вывод

Моделирование теплообмена в топке водогрейного котла показало, что использование экранно-конвективных секций позволяет увеличить утилизацию тепла непосредственно в топочной камере за счет повышения эффективной поверхности теплоотдачи.

Summary

In the given work the results of computer modeling of processes of an exchange of a heat and weight in the chamber of burning of the boiler, heating up water, with a new design of a surface of heating in the chamber of burning are considered.

Key words: the boiler, heating up water new design of a surface of heating, computer modeling.

Литература

1. Хитрых Д. Моделирование процессов горения, тепло и массообмена в топках котлов на пылевидном топливе // ANSYS Advantage. Русская редакция. – Осень 2008. С.25-28. URL: <http://www.ansysolutions.ru>.

2. Котельная установка с увеличенной конвективной поверхностью нагрева. Патент РФ на полезную модель № 89667.

Поступила в редакцию

10 мая 2010 года

Каравайков Владимир Михайлович – д-р техн. наук, профессор, директор регионального центра энергосбережения Костромского государственного технологического университета. Тел.: 8 (4945) 31-70-08. E-mail: kvml@ya.ru.

Киселев Николай Владимирович – д-р техн. наук, доцент Костромского государственного технологического университета. Тел.: 8 (4945) 31-70-08.

Шипов Алексей Вячеславович – аспирант Костромского государственного технологического университета. Тел.: 8 (4945) 31-70-08.