УДК 621.311

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ

Лебедев С.В., Баранова М.П., Кулагин В.А.

Политехнический институт Сибирского Федерального Университета, Красноярск, Россия

АННОТАЦИЯ

Проведены исследования процесса сжигания водоугольных суспензий из отходов углеобогащения в адиабатической вихревой камере с помощью программы Ansys Fluent v 12.1. В качестве сеточного генератора использован ICEM CFD v 12.1, который является предпроцессором Ansys Fluent. На основании проведенного численного моделирования установлено распределение температурных полей по объему топочного пространства, массовые скорости испарения жидкой фазы, выхода летучих веществ и выгорания углерода из твердой фазы водоугольного топлива.

Расчетные данные коррелируют с экспериментально полученными результатами.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие теплоэнергетики в значительной мере связано с использованием низкокачественных углей [1]. Для повышения теплосодержания угля применяются технологии деминерализации. В процессе обогащения, неизбежно возникают проблемы утилизации сопутствующих тонких угольных шламов с зольностью более 20%. В связи с этим, создание конкурентноспособных экологически чистых технологий переработки угля и утилизации отходов углеобогащения является актуальным.

Суспензионное топливо представляет собой композиционную дисперсную систему, состоящую из твердой фазы в виде мелкодисперсных частиц угля и жидкой среды. Такое топливо, подобно жидкому, обладает необходимой текучестью для транспортирования по трубопроводу, может храниться в резервуарах-накопителях и эффективно распыливаться в форсуночных устройствах.

Горение водоугольного топлива является гетерогенным процессом химического взаимодействия твердого топлива с окислителем, осложненным параллельно протекающей генерацией пара, что существенно меняет реакционную способность и условия тепло- и массообмена как на поверхности, так и в его объеме и приводит к интенсификации суммарной скорости выгорания и высоким тепловым напряжениям процесса. Экспериментально установлено, что при поверхностном горении слоя смеси мелких частиц угля с водой в результате градиентов влажности и температуры имеет место непрерывный транспорт влаги из внутренних слоев топлива к горящей поверхности, осложненной процессами испарения влаги и газообразования в результате взаимодействия влаги и углерода топлива по мере ее прогрева. Процесс горения такой смеси сопровождается образованием узкой зоны перегрева водяных паров, расположенной непосредственно за зоной поверхностного горения, которая характеризуется высоким термическим сопротивлением и большими градиентами температуры и концентрации водяного пара. При горении смеси угля с водой имеют место две зоны газообразования: высокотемпературная – зона горения и низкотемпературная – зона десорбции углекислоты и метана, возникающая непосредственно перед зоной парообразования в слое при температурах ниже температуры кипения воды.

Известно, что температура воспламенения суспензионного угольного топлива практически вдвое меньше, чем температура воспламенения сухого пылеугольного топлива [2,3].

Особое внимание уделяется организации распыливания водоугольного топлива форсуночными устройствами в топочном объеме, так как оптимальные условия распыливания суспензии позволяют избежать образования крупных капель, способствующих агломерации угольных частиц [4].

Эмпирическое исследование закономерностей сжигания водоугольного топлива в топочных устройствах является трудоемким и дорогостоящим процессом. Опираясь на вышеизложенные закономерности, в работе было применено численное моделирование процесса сжигания водоугольного топлива.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

В качестве основы для численного моделирования процесса сжигания водоугольного топлива использовались данные лабораторных исследований и результаты опытно-промышленных экспериментов.

В работе применялась технология низкотемпературного вихревого сжигания суспензионного угольного топлива в адиабатических камерах сгорания.

Геометрические размеры топочного пространства, расположение форсуночного устройства и нижнего дутья опытно-промышленной установки описаны в [5]. Использовалось водоугольное топливо на основе шламов углеобогатильных фабрик Кузбасса. Характеристики ВУС, полученные в лабораторном масштабе, были частично использованы для численного исследования.

Массовая доля твердой фазы в ВУС составила 61%, зольность – 20%, выход летучих веществ – 40%, крупность частиц - +350-70 мкм.

Расход суспензионного угольного топлива через форсуночное устройство – 100 кг/ч, скорость частиц топлива – 80 м/с, вязкость при скорости сдвига 81 с-1 1000 мПа·с.

Модель, использованная в программном пакете «FLUENT», совмещает Эйлеров и Лагранжев подходы для описания движения газа и взвешенных частиц. Общие уравнения движения, теплообмена и горения в газовой фазе представлены на основе Эйлерова способа описания, т.е. используются стационарные пространственные уравнения баланса массы, импульса, концентрации газовых компонентов и энергии для газовой смеси. Лагранжев подход применялся для описания движения и тепломассообмена одиночных частиц топлива и золы вдоль их траектории с учетом обратного влияния дисперсной фазы на несущую среду. Турбулентные характеристики газа рассчитывались с использованием двухпараметрической «k-Ɛ» модели турбулентности, также учитывающей влияние движущихся частиц. Радиационный теплообмен в двухфазном потоке представлен в рамках P1 приближения метода сферических гармоник [6].

Численное моделирование процесса горения выполнялось с использованием программы Ansys Fluent v 12.1, которая предназначена для комплексного расчета аэрогидродинамических течений при наличии тепло- и массообмена, излучения, химических реакций в многофазных системах различной геометрии. В качестве сеточного генератора использовался Icem CFD v 12.1, который является препроцессором Ansys Fluent.

В области топочного пространства сгенерирована тетраэдральная сетка, состоящая из 299033 ячеек (Рис.1).

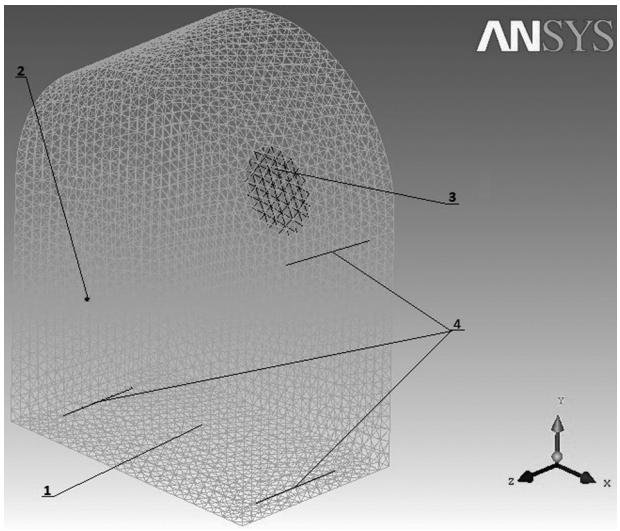


Рис.1 Расчетная сетка: 1 – топка котла; 2 – форсунка; 3 – выходное отверстие; 4 – система дутья.

Расчетный объем состоял из топки котла, форсунки, выходного отверстия и системы нижнего дутья. Предполагалось, что течение ВУС описывается системой стационарных трехмерных уравнений Навье – Стокса и энергии, осредненных по Рейнольдсу. Дискретизация дифференциальных уравнений сохранения выполнена с вторым порядком

точности. Теплофизические свойства воздуха рассчитывались по полиномиальной зависимости от температуры.

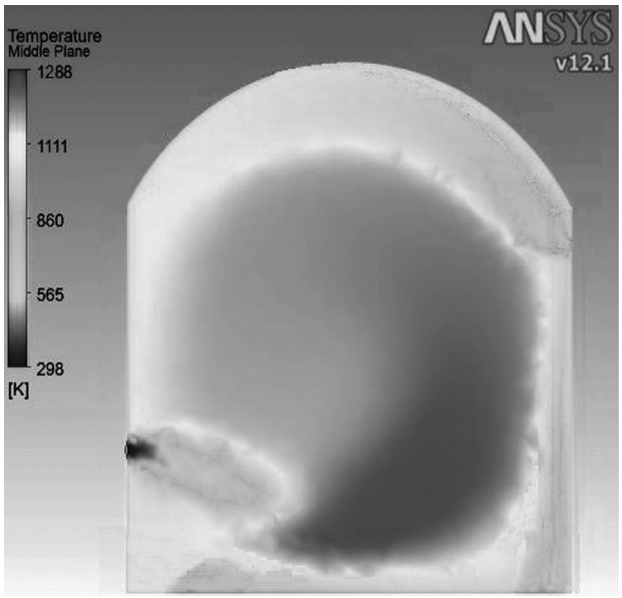
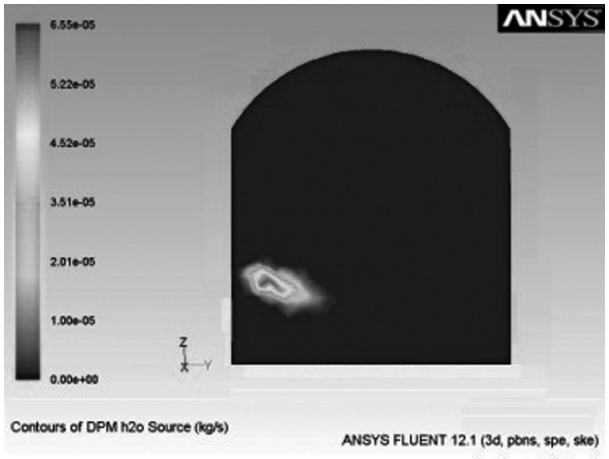


Рис.2 Распределение температурных полей по объему топки.

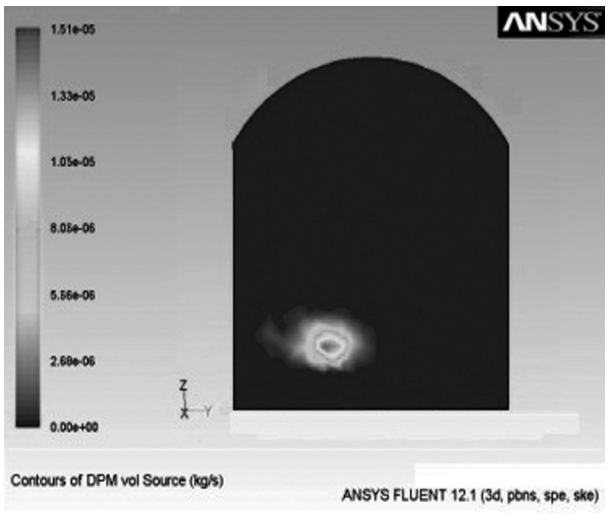
На рис.2 представлено распределение температурных полей по объему топопочного пространства при сжигании водоугольного топлива. Это позволило определить зоны устойчивого горения суспензионого топлива в центральной части топки, вблизи выходного отверстия.

Рис.3 показывает массовые скорости испарения жидкой фазы ВУС (а), выхода летучих (б) и выгорания углерода из твердой фазы водоугольного топлива (рис.3)

a)



b)



c)

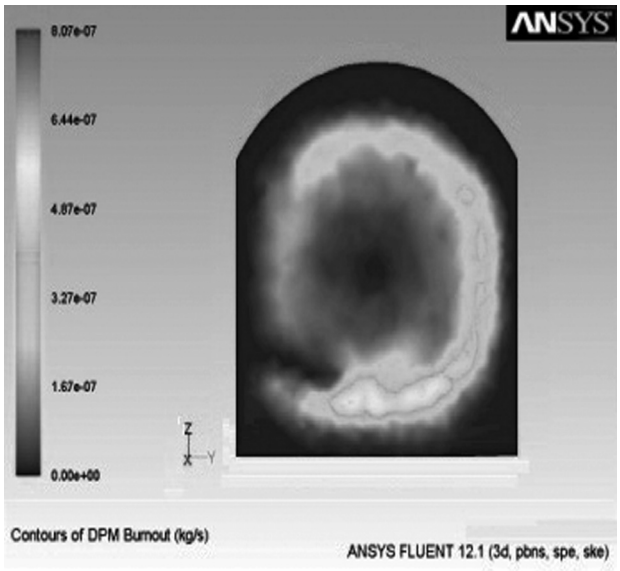


Рис.3 Массовые скорости: a – испарения жидкой фазы; b – выхода летучих; c – выгорания углерода.

Анализ данных рис.3 показывает, что на начальной стадии сжигания ВУС в вихревой топке протекает процесс испарения жидкой фазы ВУС (рис.3a). В момент завершения испарения начинается выход летучих веществ из твердой фазы (рис.3b). Это процесс сопровождается характерным повышением температуры в топочном пространстве (рис.2). При достижении необходимой температуры начинается выгорание углерода твердой фазы водоугольного топлива (рис.3c).

ВЫВОДЫ

На основе численного исследования процесса сжигания водоугольных суспензий из отходов углеобогащения установлено распределение температурных полей по объему топочного пространства вихревой топки, определены массовые скорости испарения жидкой фазы, выхода летучих и выгорания углерода твердой фазы. Также установлены траектории движения частиц водоугольного топлива в топочном пространстве. Полученные расчетные значения достаточно хорошо совпадают с экспериментальными данными. Это позволяет утверждать, что программный пакет может быть успешно адаптирован для моделирования процессов сжигания ВУС в вихревых топках.

Численное моделирование позволит определить режимные характеристики сжигания водоугольнго топлива без проведения натурных экспериментов, требующих больших экономических и материальных затрат. Использование численных методов облегчит процесс перевода котельных установок с одного вида топлива на другое, в частности на водоугольное топливо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диденко А.Н. Нехимические методы получения жидкого топлива из углей // Известия АН Энергетика.– 2002.– №5. – С. 103–118.
2. Бабий В.И. Воспламенение и горение капель водоугольной суспензии / В.И. Бабий, В.М. Барабаш, А.М. Хидиятов, В.А. Степашина // материалы IX Всерос. симп. по горению и взрыву. –1989. – С. 56-59.
3. Мурко В.И. Водоугольное топливо / В.И. Мурко, В.И. Федяев, Д.А. Дзюба // Уголь. – 2002. – №6. – С. 58-59.
4. Rini M.J. Large-scale combustion applications of beneficiated fuels / K.V. Thambimuthu // Canada Centre for Mineral and Energe Techlogy (CAMMET). – 1989. – P. 23.
5. Сенчурова Ю.А. Совершенствование технологии сжигания водоугольного топлива в вихревых топках: канд. дисс. 2008–117 с.
6. Бубенчиков А.М. Численные модели динамики и горения аэродисперсных смесей в каналах / А.М. Бубенчиков, А.В. Старченко // Изд. Том.Ун-та.– 1998.– 221 с.