

ТЕПЛОТЕХНИКА

УДК 662.6/8

В.И. Мурко, Ю.А. Сенчуррова, В.И. Федяев, В.И. Карпенок

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ СУСПЕНЗИОННОГО УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ

Известно, что горение суспензионного угольного топлива (ВУТ) существенно отличается от аналогичного процесса для пылевидного угля, при этом эффективность его сжигания существенно зависит от качества распыления топлива. Учитывая полидисперсность частиц угля в ВУТ, при высокоскоростном вылете распыленного топлива из сопел форсунки образуются как чисто угольные частицы («капли-частицы» крупнее 80–100 мкм), с которых за счет сил гидродинамического трения срывается жидкая пленка с наиболее тонкими угольными частицами, так и водоугольные капли, состоящие из тонких частиц угля и жидкой фазы. Поэтому механизмы воспламенения и горения полидисперсного потока распыленного ВУТ необходимо рассматривать с учетом законов тепломассообмена и химических реакций, происходящих в жидкотопливных каплях и обычных угольных частицах.

Данная физическая модель распыления ВУТ была подтверждена математическими расчетами и результатами эксперимента [1].

Таким образом, принимается, что процесс сжигания распыленных капель ВУТ представляет собой сочетание горения двух модельных систем: угольных частиц с диаметром $d_k > 80 \div 100$ мкм («капли-частицы») и водоугольных капель с диаметром $d_k \leq 80 \div 100$ («капли») [1].

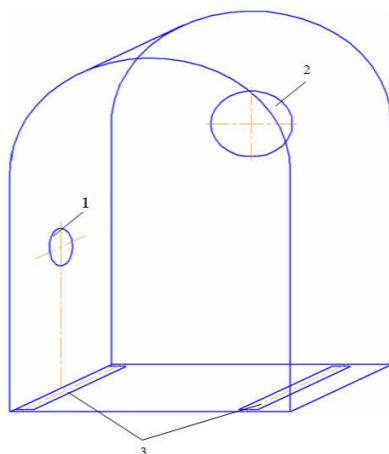


Рис. 1. Геометрия моделируемой области



Рис. 2. Расчетная сетка

Низкая реакционная способность ВУТ вследствие наличия в ВУТ жидкой фазы – воды, а также повышенная относительно других жидкых топлив вязкость являются решающими при выборе эффективной технологии сжигания ВУТ, которая должна обеспечивать необходимую полноту выгорания топлива и минимально возможные вредные выбросы в уходящих газах. С учетом указанных особенностей ВУТ используется низкотемпературный вихревой способ его сжигания (HTBCC), разработанный д.т.н. Пузыревым Е.М. [2] и реализованный при создании различных конструкций вихревых топочных камер сжигания [3–4].

В отдельных случаях для сжигания ВУТ используется низкотемпературный кипящий слой, создаваемый из частиц инертного материала. Однако данный метод имеет существенные недостатки: высокие затраты энергии на собственные нужды, высокие требования к качеству сжигаемого топлива. Таким образом, учитывая преимущества HTBCC технологии, наиболее эффективно ВУТ может быть сожжено в вихревой топке.

Численное моделирование процесса сжигания ВУТ в подобных специализированных топках специальных конструкций в соответствии с разработанной моделью горения [1] выполнялось с использованием программы численного моделирования FLUENT.

Построение сетки для вихревой топочной камеры (рис. 1, 2) выполнялось с использованием пакета GAMBIT, являющийся геометрическим и сеточным пре-процессором для FLUENT.

Водоугольное топливо подается в камеру сжигания через форсунку (1), расположенную в горелочном устройстве, установленном в одной из боковой стенок. Воздух, необходимый для сжигания, распределяется на два основных потока. Первичный поток подается через сопло форсунки и используется для распы-

ления водоугольной суспензии и организации устойчивого воспламенения, а вторичный поток выходит из дутьевых сопел (3). Первичный воздух вместе с распыленным топливом вводится в камеру сжигания через форсунки, тангенциально выходному окну вихревой камеры, также как вторичный поток вводится в камеру тангенциально через специальные сопла. Активная вихревая аэродинамика, создаваемая в топочной камере тангенциальной подачей дутья, используется для глубокого выжигания летучих и уноса и подавляет эмиссию вредных веществ, благодаря идеальному перемешиванию вводимого топлива и окислителя.

При численном моделировании использовались следующие данные (табл. 1).

Таблица 1. Исходные данные для численного моделирования

Тепловая мощность топки, Гкал/ч	0,3
Расход ВУТ через форсунку, кг/ч	67-150
Массовая доля твердой фазы, %	65
Зольность угля в ВУТ, %	32
Вязкость при скорости сдвига 81 c^{-1} , мПа·с	500-1000
Крупность частиц, мкм	10-300
Скорость частицы топлива, м/с	40-146
Давление сжатого воздуха, МПа	0,2-0,5
Давление дутьевого воздуха, МПа	0,001-0,002
Коэффициент избытка воздуха	1,2-1,4

В качестве модели горения распыленных капель ВУТ применяется модель распада вихрей (Eddy-Dissipation Model). Течение описывается системой стационарных трехмерных уравнений Навье-Стокса, сохранения энергии и массы, осредненных по Рейнольдсу. Турбулентная вязкость рассчитывается с помощью двухпара-метрической « $k-\epsilon$ » модели. Радиационный теплообмен в двухфазном потоке представляется в рамках Р1 приближения метода сферических гармоник. Теплофизические свойства воздуха рассчитываются по полиномиальной зависимости от температуры. Параметры инъекции капель ВУТ в камере задаются с помощью модели «Discrete Phase Model».

Распыленные капли ВУТ, попадающие в

топочную камеру, нагреваются как за счет теплоты радиационного излучения от пламени, так и за счет высокой температуры газообразных продуктов сгорания. Затем процессы развиваются в следующем порядке: испарение влаги, выход летучих веществ и воспламенение. Воспламенившиеся капли-частицы ВУТ сгорают, перемешиваясь с вторичным воздухом, и формируют тем самым условия сгорания для летучих веществ, выделившихся из угольных частиц. Коксовые остатки угля после сгорания летучих, перемешиваются с вторичным воздухом для сгорания, формируя фронт горения. Грубодисперсные капли-частицы могут перемещаться к выходу топочной камеры еще до завершения сжигания и являются основной составляющей несгоревших остатков в золе. Таким образом, при вихревой системе сжигания необходимо добиваться наибольшего времени пребывания «капель-частиц» в вихревой камере.

Путем численного моделирования построены траектории движущихся «капель-частиц» и капель ВУТ в вихревой топке в зависимости от их диаметра. При этом установлено, что время пребывания распыленных наиболее крупных капель топлива в топочном пространстве может составлять не менее 5-6 с, что обеспечивает практически полное их выгорание.

Расчет показал, что температура угольной частицы при движении плавно растет, а температура капли ВУТ после повышения до температуры испарения жидкой фазы остается постоянной на протяжении всего процесса испарения. Затем начинаются процессы горения твердой фазы капли ВУТ с выделением теплоты, и наблюдается резкое повышение температуры. Содержание летучих веществ для угольной частицы неизменно в начале процесса и уменьшается только при нагреве частицы до температуры выделения летучих веществ. Для капель ВУТ наблюдается увеличение содержания летучих веществ за счет испарения воды. В процессе испарения температура твердой фазы капли ВУТ повышается, и содержание летучих веществ достигает аналогичного значения для твердой угольной частицы. Стабильность

Таблица 2 - Технические характеристики исследованных опытных партий ВУТ

Наименование показателя	Единица измерения	Характеристика, числовое значение		
Тип исходного сырья		Уголь	Угольный шлам	Угольный шлам
Марка угля		Д, Г	СС	А
Массовая доля твердой фазы, С _т	%	56÷60	58÷65	63÷68
Крупность частиц	мкм	0÷350	0÷500	0÷350
Эффективная вязкость при скорости сдвига 81 c^{-1} и температуре 20°C	мПа·с	500÷850	500÷850	500÷850

Таблица 3. Результаты сжигания опытных партий ВУТ

Вид водоугольного топлива	Температура в топке		Время выхода на стабильное самостоятельное горение, мин
	зажигания	стабильное самостоятельное горение	
из угля марки Д, Г	450÷500°C	800÷850°C	25÷30
из угольных шламов марки СС	зольность 22%	600÷650°C	35÷37
	зольность 36%	600÷650°C	40÷45
из антрацита марки А	750÷850°C	950÷1070°C	50÷56

Таблица 4. Результаты исследований, полученные численным моделированием и экспериментально

Наименование данных	Данные, полученные	
	Численным моделированием	экспериментально
Тепловая мощность	247 кВт	258 кВт
Выход CO	101 мг/м³	116 мг/м³
Выход NOx	412 мг/м³	419 мг/м³
Мех. недожог	7 %	5 %

процесса сохраняется в течение значительно меньшего времени за счет повышения температуры твердой фазы капли ВУТ в процессе испарения воды.

Численные результаты сравнивались с экспериментальными данными, полученными в процессе сжигания опытных партий ВУТ, приготовленных из углей различных марок и зольности, на демонстрационном стенде НПП «Сибэкотехника» [5]. В табл. 2 представлены технические характеристики исследованных опытных партий ВУТ. Анализ результатов сжигания опытных партий ВУТ (табл. 3) показывает, что температура зажигания и время выхода на стабильный режим горения различных видов ВУТ зависят от марки угля и его зольности, что подтверждает теоретические

исследования.

Также проведенные испытания показали, что ВУТ, приготовленные из углей различных марок и зольности, надежно воспламеняются и эффективно сжигаются в вихревой топке.

В табл. 4 представлены результаты, полученные численным моделированием и экспериментально, откуда видно, что механический недожог топлива (содержание горючих в уловленных золовых частицах) составляет не более 5-7%. Таким образом, численные расчеты хорошо согласуются с экспериментом.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сенчурова, Ю.А. Результаты исследований распыления водоугольного топлива пневмомеханическими форсунками/ Ю.А. Сенчурова, В.И. Мурко, В.И.Федяев, Д.А. Дзюба, Е.М. Пузырев // Известия Томского Политехнического Университета, 2008. – Т.312. - № 4. – с. 37-40.
2. Материалы сайта: www/kotelprom.ru.
3. Мурко В.И., Сенчурова Ю.А., Федяев В.И., Дзюба Д.А. Модель сжигания суспензионного угольного топлива. Горение твердого топлива. Сб. докл., ч.2, Новосибирск, 2009. – с. 144-149.
4. Мурко, В.И. Результаты численного моделирования процесса сжигания водоугольного топлива [Текст] / В.И. Мурко, А.Риестерер, С.А. Цецорина, В.И. Федяев, В.И. Карпенок // Ползуновский вестник, 2011. №2/1. – С 230-234.
5. Мурко, В.И. Демонстрационная опытно-промышленная установка для приготовления, транспортирования, хранения и сжигания композиционного водоугольного топлива [Текст] / В.И. Мурко, В.И. Федяев, Д.А. Дзюба и др. // Уголь Кузбасса, 2003. – № 10. – с. 20.

□ Авторы статьи

Сенчурова Юлия Анатольевна, канд.техн.наук, доцент, зав. каф. математики и естественных наук (филиал КузГТУ в г. Белово) E-mail: ysenchurova@yandex.ru	Мурко Василий Иванович, докт.техн.наук, проф., руководитель лабор. энерго-генерирующих технологий и комплексов СибГИУ, E-mail: sib_eco@mail.ru	Федяев Владимир Иванович, ген. директор ЗАО НПП «Сибэкотехника» E-mail: sib_eco@mail.ru ; тел. (3843) 74-37-00;	Карпенок Виктор Иванович, ст. науч. сотрудник лабор. энергогенерирующих технологий и комплексов СибГИУ E-mail: sib_eco@mail.ru
--	---	---	---