УДК 621.1

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА И ТЕХНОЛОГИИ ЕГО СЖИГАНИЯ

Серант Ф.А.[1], Цепенок А.И.[2], Овчинников Ю.В.[3], Луценко С.В.[4], Карпов Е.Г.[5]

[1]ЗАО «ЗиО-КОТЭС», [2]ЗАО «КОТЭС-Наука», Новосибирск, Россия
[3]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
[4]ЗАО «Компомаш-ТЭК» НПЭИЦ, [5]ЗАО «КОТЭС», Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Описаны способы приготовления водоугольных топлив, представлены результаты расчетных исследований и опытного сжигания водоугольных топлив различного состава в нескольких типах горелочных устройств, представлены две установки по приготовлению и сжиганию ВУТ.

ВВЕДЕНИЕ

Водоугольное топливо (ВУТ) представляет собой жидкую смесь из двух и более компонентов в различных пропорциях, один из которых обязательно является горючим элементом (каменный и бурый угли, торф, отходы углеобогащения, нефтяной кокс и пр.).

Использование в энергетике в качестве энергоносителя водоугольных топлив и его подвидов имеет ряд преимуществ по сравнению с известными способами подготовки и сжигания угля. Это, прежде всего, относится к уменьшению потерь при транспортировке угля, удобству хранения и внутристанционного перемещения, подаче ВУТ в топки энергетических установок. Кроме того, ВУТ является перспективным топливом для замещения дефицитного и дорогостоящего мазута на энергетических объектах. Несмотря на то, что реконструкция котлов для перехода на сжигание ВУТ требует значительных финансовых вложений, при большом разнообразии региональных и местных условий имеется достаточно много «энергетических ниш», где его использование является предпочтительным с технико-экономических позиций.

Стоит отметить, что в настоящее время любая реконструкция, или ввод новых мощностей должны удовлетворять существующим постоянно ужесточающимся нормам по вредным выбросам. Одним из способов решения данной задачи является, на наш взгляд, реконструкция котлов с переводом их на сжигание водоугольного топлива в специальных предварительных камерах сжигания - предтопках.

На данный момент известны ряд способов приготовления ВУТ и его сжигания в различных топочных устройствах. К топочному устройству предъявляются условия по повышению времени пребывания частиц в зоне высоких температур и наличие в топочно-горелочном устройстве «источника зажигания». Однако лишь некоторые из предлагаемых вариантов позволяют применять ВУТ в энергетике, обеспечивая его надежное воспламенение и выгорание.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ЖИДКОГО КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА (ИКЖТ) И ЕГО СЖИГАНИЕ В ЦИКЛОННОМ ПРЕДТОПКЕ

На данный момент развития технологий приготовления водоугольных топлив одним из самых перспективных и оптимальных является его приготовление с использованием эффекта кавитации. Такие водоугольные топлива часто называют кавитационными водоугольными топливами. ИКЖТ является одним из подвидов таких топлив, и представляет собой смесь из угля, воды и прочих компонентов приготовленную с использованием специальных устройств-кавитаторов. Кавитационная обработка- это воздействие на среду большими давлениями (в том числе и переменного значения) и температурами. Кавитационная обработка позволяет получить однородное мелкодисперсное топливо устойчивое к седиментации. Это позволяет хранить конечный продукт долгое время в различных резервуарах вплоть до его непосредственного применения в технологическом процессе (в данном случае сжигании). ИКЖТ (как подвид ВУТ) также может содержать в себе технический глицерин, метанол и многие другие отходы химической

© Серант Ф.А., Цепенок А.И., Овчинников Ю.В., Луценко С.В., Карпов Е.Г.

промышленности, подлежащие утилизации путем сжигания.

Технологическая линия, скомпонованная в соответствии со способом производства ИКЖТ, показана на рис.1.

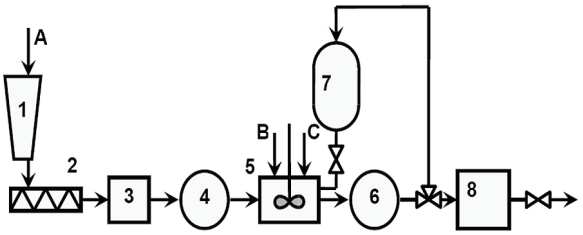

Рис.1 Схема технологической линии производства ИКЖТ: 1 - угольный бункер; 2 - питатель-дозатор; 3 - дробилка; 4 - диспергатор; 5 - миксер; 6 - кавитатор; 7 - буферный бак; 8 - бак готового ИКЖТ; А - уголь, В - вода, С - технологические добавки

Уголь А из бункера 1 питателем-дозатором 2 подается в дробилку первичного измельчения 3. Первично измельченный до фракции 2 мм уголь поступает в диспергатор ультратонкого измельчения 4, в котором размалывается до состояния порошка со средним размером частиц 30 мкм. В миксере 5 угольный порошок активно смешивается с водой В и технологическими добавками С, амелиорирующими свойства ИКЖТ. Смесь из миксера поступает в кавитатор 6, в котором производится доработка топливной композиции. При этом образуется значительная ультрадисперсная фракция (5…10 мкм) угольного компонента, а также происходят изменения в жидкой фазе. При необходимости, в зависимости от марки исходного угля, обработка топлива может производиться в циклическом режиме с использованием буферного бака 7, поскольку производительность кавитатора 6 выше производительности диспергатора 4. Готовое топливо ИКЖТ поступает в бак 8. Схема предлагаемой технологической установки линейная, что очень удобно с точки зрения автоматизации технологического процесса.

Для исследования процессов горения и разработки топочного устройства, представляющего собой циклонный предтопок, в качестве проектного топлива было принято ИКЖТ из кузнецкого каменного угля марки Д и воды в соотношении 60%:40%, приготовленное при помощи диспергатора и кавитатора без добавления пластификаторов и других присадок и имеющее размер частиц 2-25мкм.

Задачей исследования являлась отработка конструкции горелочного устройства для сжигания ИКЖТ в промышленных котлах, определение основных характеристик горения ИКЖТ. Для данных целей также был спроектирован и изготовлен в качестве демонстрационного стенда циклонный предтопок.

Общий вид предтопка и фотография его внутренней части показаны на рис.2.

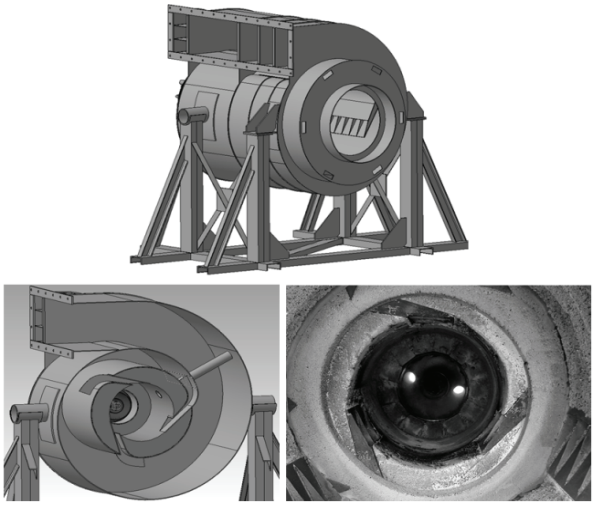

Рис.2 Общий вид предтопка и фотография его внутренней части

Предтопок имеет форму цилиндра переменного диаметра, эскизно представлен на рис.3.

Конструктивно предтопок условно разделен на три секции: камеру воспламенения, камеру основного горения и камеру дожигания. Секции имеют разный диаметр и длину. Камера дожигания имеет меньший диаметр по сравнению с камерой основного горения и, поэтому, является пережимом для первой, что должно обеспечить более длительное пребывание крупных частиц в зоне максимальных температур.

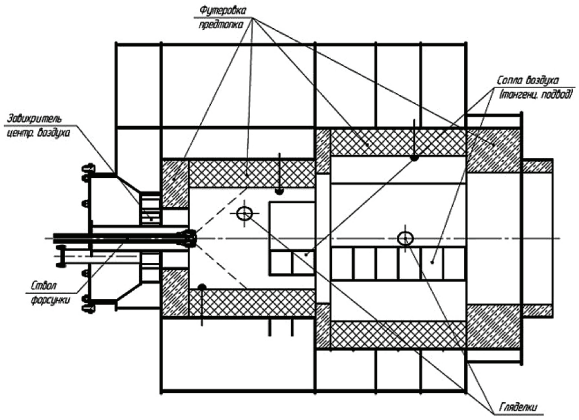

Рис.3 Циклонный предтопок в разрезе

Ввод воздуха в предтопок производится тангенциально в первой и второй секциях. Всего по периметру секций имеется три равноудаленных тангенциальных ввода воздуха. На входе в камеру

установлена вихревая горелка с центральной подачей первичного воздуха, оснащенная тангенциальным завихрителем. Растопка и разогрев камер осуществляется с помощью дизтоплива.

Для обеспечения надежного воспламенения и сгорания предтопок футерован огнестойким кирпичом, способным выдерживать температуру до 1500ºС. Предтопок можно считать адиабатическим, поскольку теплопроводность футеровки составляет порядка 1-3 Вт/м^2·К.

С целью изучения процессов горения, аэродинамических характеристик топливно-воздушных потоков, концентраций продуктов сгорания в предтопке проведен ряд трехмерных расчетов в растопочном и основном режимах. Моделирование выполнялось в специализированном программном комплексе Fluent.

Первоочередной задачей моделирования является определение возможности создания оптимальных условий для воспламенения ИКЖТ, а таковыми являются:

Разогрев футеровки предтопка до температур 600-700°С, необходимых для хорошего быстрого прогрева ИКЖТ за счет излучения стенок и его воспламенения.

Наличие высоких температур 800-1000°С на выходе из камеры воспламенения для организации устойчивого горения ИКЖТ.

Наличие застойной высокотемпературной зоны у корня факела.

Распределение подвода воздуха по всей длине предтопка в оптимальных долях для наиболее полного выжигания и отсутствия чрезмерного «захолаживания» топочной среды.

После подбора оптимальных условий для воспламенения ИКЖТ производится расчет горения и самого ИКЖТ. Исходными параметрами (температура стенки, распределение воздуха, параметр крутки) являются результаты расчета предтопка при работе на растопочном топливе.

В качестве растопочного топлива из базы программы Fluent был выбран наиболее близкий по характеристикам к используемому на демонстрационной установке дизтопливу- керосин.

По результатам моделирования температуры в зоне воспламенения достигают 1200-1350°С, что отвечает условиям воспламенения ИКЖТ. Холодные «языки» характеризуют мощный пристенный воздушный поток, который должен не допустить чрезмерного радиационного разогрева футерованных стенок предтопка.

Наиболее разогретой является зона основного горения и выходная часть предтопка, что свидетельствует о мощных радиационных потоках на футерованную стенку в этих зонах. Температуры в этих зонах могут достигать 1100-1200°С. Крутка центрального воздуха, необходимая для его хорошего смешения с распыленным топливом и быстрого воспламенения, оказывает влияние на охлаждение зоны воспламенения за счет конвекции, но, несмотря на это, температура стенки в середине и на выходе из зоны воспламенения достигает 500-800°С, чего может быть достаточно для воспламенение основного топлива (ИКЖТ).

На рис.4 представлено поле скоростей в осевом сечении предтопка.

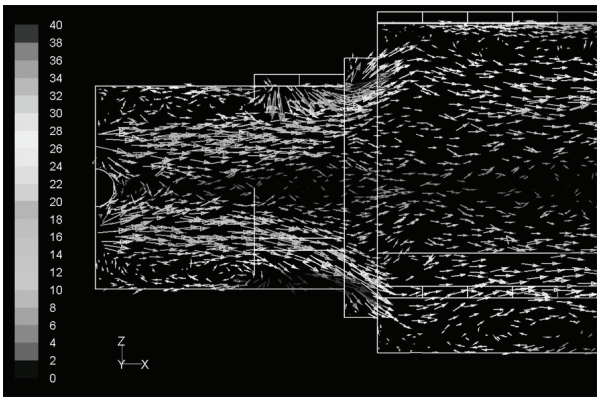

Рис.4 Поле скоростей в осевом сечении предтопка, м/с

Как видно из рисунка, по оси предтопка располагается застойная зона и зона рециркуляции топочных газов. Благодаря им в зону воспламенения постоянно затягиваются горячие дымовые газы из камеры горения, что способствует воспламенению топлива и разогреву стенок камеры.

Основным исходным параметром для расчета процесса горения основного топлива (ИКЖТ) была принята начальная температура стенки предтопка 600-1000°С.

В качестве расчетной модели было принято топливо - высоковлажный уголь с параметрами представленными в таблице 1.

Углерод, %	C^p	60,8
Водород, %	H^p	3,6
Кислород, %	O^p	6,5
Вода, %	W^p	9,0
Азот, %	N^p	1,5
Сера, %	S^p	0,4
Зола, %	A^p	18,2
		100,0
Выход летучих на горючую массу, %	V^{daf}	31
Калорийность топлива (низшая), ккал/кг	Q^r_i	5590,0

Табл.1 Основные данные по составу угля, входящего в ИКЖТ

Поля установившихся в предтопке температур представлены на рис.5-6. Горение ИКЖТ (для

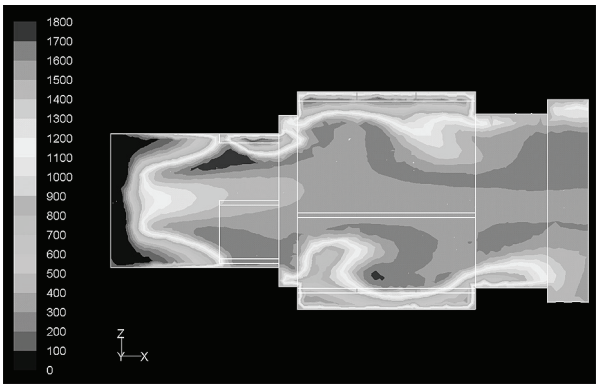

Рис.5 Поле температур в осевом сечении, °С

Fluent - высоковлажного угля тонкого помола) отличается от горения дизтоплива (керосина). Изменяется интенсивность излучения, скорость выгорания и аэродинамика предтопка.

Основной выход летучих и их горение происходят в зоне подачи первичного воздуха, где

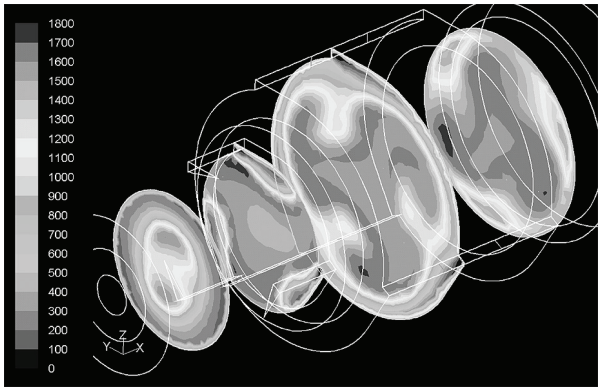

Рис.6 Поле температур в поперечных сечениях, °С

избыток воздуха очень мал (порядка 0,2-0,4), за счет тепла, излучаемого футеровкой. Горение же коксового остатка продолжается по всей длине

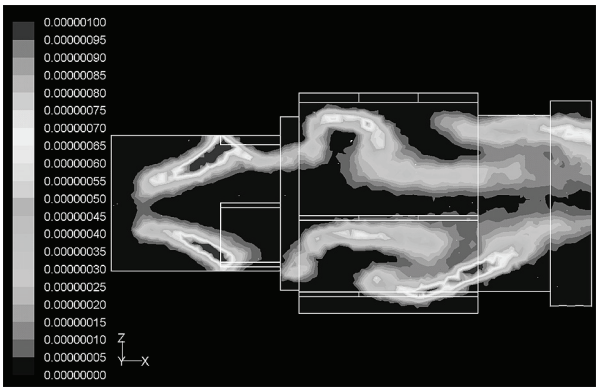

Рис.7 Скорость горения кокса, кг/с

предтопка в большей части его объема по мере поступления (ввода) воздуха, необходимого для горения. На рис.7 представлено поле скоростей горения коксового остатка.

Как видно из рис.8, воздушные потоки прижимаются к стенкам камеры, что позволяет

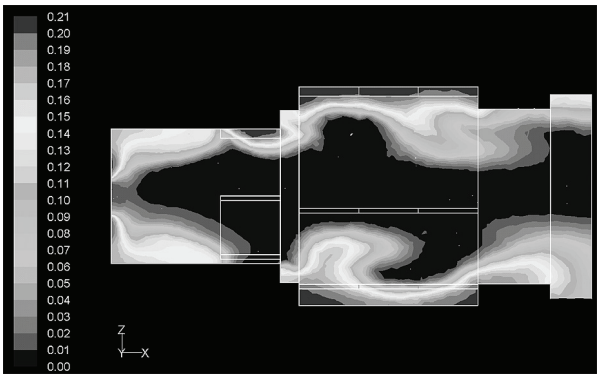

Рис.8 Поле концентрации кислорода в осевом сечении, доля

защитить их от перегрева и возможного шлакования частицами ИКЖТ.

По результатам моделирования определена эмиссия оксидов азота при сжигании ИКЖТ, составляющая ~200 мг/нм^3 при подаче всего воздуха необходимого для горения в камеру предтопка, и степень выгорания топлива на выходе из предтопка, равная ~90% (дальнейшее дожигание коксового остатка должно проходить в топочной камере котла).

Моделирование дает возможность анализировать процессы, протекающие в

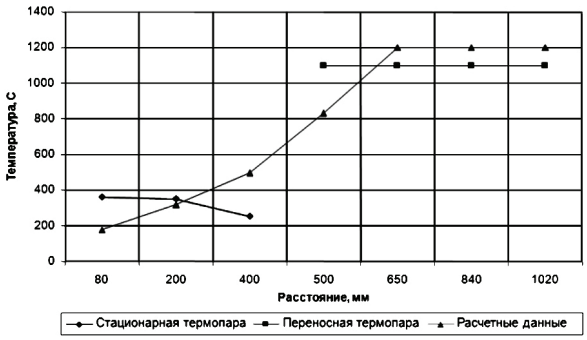

Рис.9 Распределение температуры стенки по длине предтопка

предтопке, сравнивать их с натурными испытаниями демонстрационной установки и вносить необходимые поправки в расчетную модель.

Данные по температуре стенки предтопка, замеренные с помощью стационарных и переносных термопар, а также расчетные температуры представлены на рис.9.

Рис.10 Фотографии процесса горения растопочного и основного топлива в циклонном предтопке

Показания стационарных и переносных термопар при работе предтопка на растопочном топливе весьма схожи с результатами моделирования процессов горения дизтоплива в предтопке. Это говорит о том, что выбранная для моделирования кинетика горения близка к реальной картине горения.

Температура стенок соответствовала верхнему пределу измерения ~1100°С.

На рис.10 последовательно представлены фотографии горения растопочного топлива, внутренней части предтопка в момент прекращения подачи растопочного топлива и горение ИКЖТ. Выводы

Проведенные исследования и стендовые испытания показали их принципиальную сходимость и возможность сжигания ИКЖТ в циклонном предтопке;

- Компьютерное трехмерное моделирование помогает четче представлять картину горения и аэродинамику в данном устройстве. Предварительно оценивать показатели работы предтопка;
- Объединение расчетных данных и результатов позволили точнее определить оптимальное распределение воздуха по длине предтопка;
- Результаты выполненных исследований в определенной степени могут быть использованы для проектирования горелочных устройств, предназначенных для сжигания ИКЖТ.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ КАВУТ (КАВИТАЦИОННОГО ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА) И ЕГО СЖИГАНИЕ В ПРЕДТОПКАХ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ

Для сжигания ВУТ, приготовленного из отходов обогащения разработан предтопок с кипящим слоем. Данный способ сжигания не требует столь мелкого измельчения угля, как для циклонного предтопка, поэтому технология приготовления ВУТ может быть упрощена.

В предтопках с кипящим слоем в качестве топлива используется КаВУТ (кавитационное водоугольное топливо), в технологической схеме приготовления которого также имеются кавитаторы, но конечный продукт имеет большую дисперсность (10-150 мкм) и нацелен на применение в качестве исходного сырья отходов углеобогащения. Это обстоятельство особенно важно при утилизации бросового продукта обогатительных угольных фабрик, применение же качественных углей только повысит надежность работы топливоприготовительного оборудования.

Исходное топливо ленточными или ковшовыми конвейерами подается в бункер сырого угля, откуда питателями сырого угля направляется в 2-х валковую дробилку. На выходе из дробилки размер частиц угля не превышает 7мм. Затем предварительно измельченный уголь и техническая вода подаются в баки с механической мешалкой, откуда направляются в кавитаторы-диспергаторы низкой частоты. По сути это первая стадия кавитационной обработки и измельчения угля. Полученный продукт перекачивается в промежуточную емкость и из нее поступает в кавитаторы-диспергаторы высокой частоты, где происходит дальнейшая обработка топлива до кондиции. Полученный продукт – КаВУТ перекачивается в емкость запаса готовой продукции, откуда подается непосредственно к горелочному устройству.

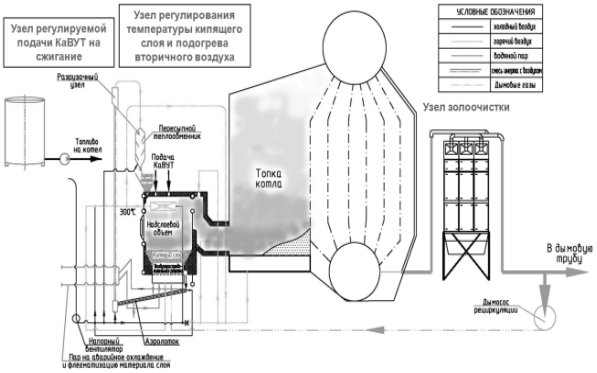

Рис.11 Схема малой промышленной установки по варианту с выносным предтопком для реконструируемых котлов

Кавитационное водоугольное топливо (КаВУТ) приготавливается только из угля и воды без применения химических присадок, при этом расход металла активных элементов составляет ~100 г/т

перерабатываемого угля, ресурс активных элементов - 500 часов непрерывной работы, время на замену активных элементов - 15 минут.

В выполненном и реализованном проекте реконструкции энергетического котла углеобогатительной фабрики «Черниговец» котел оборудован выносным предтопком. Предтопок устанавливается с фронта котла и соединяется с топкой котла переходным газоходом.

Технологическая схема данной установки представлена на рис.11.

Фотографии элементов системы приготовления КаВУТ (баки приготовления и кавитатор) представлены на рис.12.

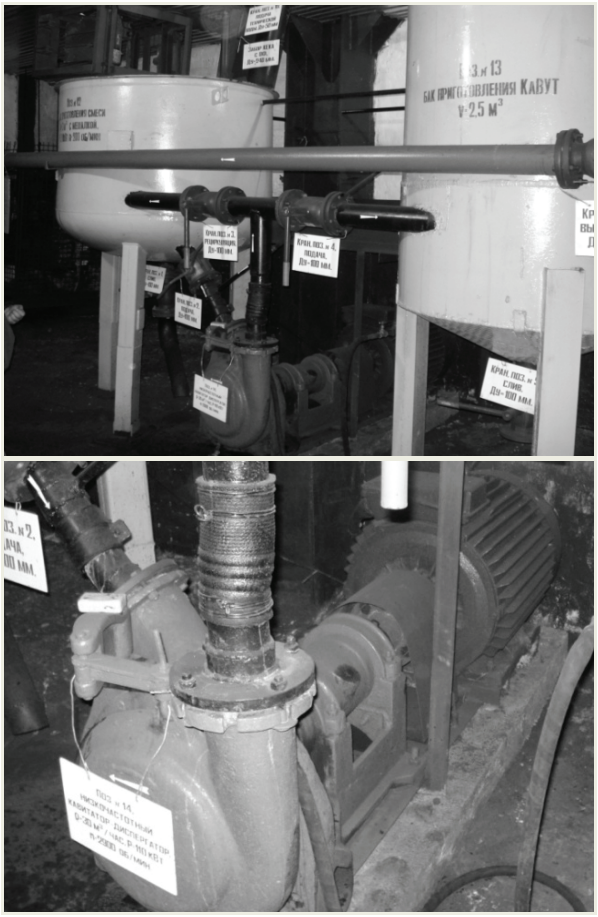

Рис.12 Фотографии элементов системы приготовления КаВУТ

В предтопке реализована система сжигания с кипящим слоем. Инертный материал слоя - речной песок. Растопка котла (разогрев слоя) производится традиционно с помощью высокореакционного растопочного топлива - газ, дизтопливо, мазут.

КаВУТ из накопительного бака подается к эжектору и разбрызгивается над слоем. Размеры капелек могут достигает 5мм и не имеют особого значения, поэтому конструкция эжектора проста.

Под кипящий слой подается воздух, необходимый для горения. В слое поддерживается избыток воздуха $\alpha<1$. Кипящий слой медленно «течет» слева направо, достигая сливного отверстия, откуда часть слоя через аэролоток поступает в разгрузочный узел, затем пересыпной теплообменник и, в конечном счете, обратно в слой.

При необходимость дополнительный для горения воздух подается в переходной газоход, а процесс горения продолжается в топке котла.

За котлом устанавливается соответствующее золоочистное оборудование.

Фотография выносного предтопка и переходного газохода представлена на рис.13.

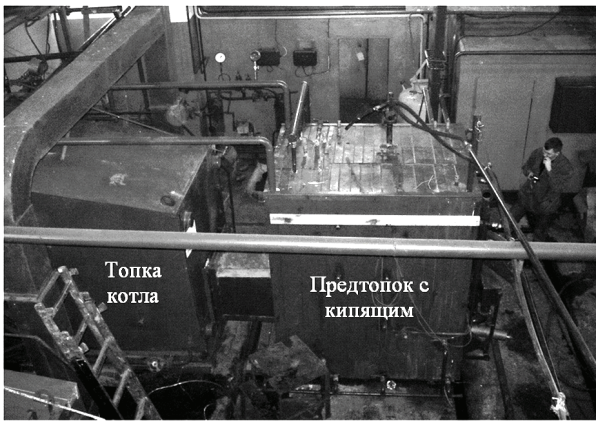

Рис.13 Выносной предтопок с кипящим слоем и его соединение с топкой котла

Процесс горения КаВУТ в предтопке можно вести в двух режимах - режиме «полного выгорания» и режиме «газификации». Первый обусловлен подачей всего воздуха необходимого для горения непосредственно в предтопок, второй предполагает работу предтопка с низким избытком воздуха и подачей дополнительного воздуха в переходный газоход или топку котла. Таким образом, режим «газификации» предполагает ступенчатое сжигание топлива.

Для ввода новых котельных установок для сжигания КаВУТ разработан вариант с установкой кипящего слоя под топкой котла, также изготовлена и введена в эксплуатацию котельная установка малой мощности с расположением кипящего слоя внизу топки.

ВЫВОДЫ

- На сегодняшний день разработаны и опробованы различные варианты расположения предтопков с кипящим слоем, как для случаев реконструкции существующих котлов, так и для строительства новых установок.
- Применение в качестве топлива КаВУТ значительно облегчает подачу топлива в топку, при этом важным фактором является возможность утилизации отходов углеобогащения угля и низкосортных углей.
- Сжигание КаВУТ в кипящем слое с низкими избытками воздуха и температурами слоя 800-900°С позволяет обеспечить нормативные выбросы NO_x без применения дополнительных дорогостоящих установок по азотоочистке, а добавление в слой извести, как известно, также позволяет обеспечить низкие показатели по выбросам оксидов серы