УДК 620.98

ОРГАНИЗАЦИЯ СЖИГАНИЯ ВОДОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

Бреус В.И.[1], Шестаков Н.С.[1], Лейкам А.Э.[1], Смирнов А.А.[1], Андриенко В.Г.[2]

[1]ОАО «Научно производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова, Санкт-Петербург, Россия
[2]ЗАО «Компомаш-ТЭК», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Рассматривается конструктивная организация процесса сжигания низкокалорийных водо-угольных топливных суспензий при близком к стехиометрическому значению коэффициента избытка воздуха, на примере опытного образца технологической камеры сгорания разработанной ОАО «НПО ЦКТИ» для опытного комплекса высокоскоростной термообработки бурых углей.

На основании расчетно-аналитических исследований разработана конструкция камеры сгорания с двухвариантным исполнением горелочного устройства. Разработана конструкция комбинированной трехступенчатой пневмо-механической форсунки обеспечивающей подачу ВУС и (или) дизельного топлива в зону горения.

Определена предварительная программа розжига камеры сгорания.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время работы по технологии производства водоугольных топливных суспензий (ВУС) и организации их сжигания находятся в стадии промышленного и опытно-промышленного применения.

Подготовка ВУС уже не вызывает принципиальных затруднений. В России в многотоннажном промышленном варианте она освоена государственным унитарным предприятием ГУП ОПУ “Белово - Новосибирск” [1, 2].

Использование искусственного композиционного жидкого топлива (ИКЖТ) ВУС в опытном образце камеры сгорания для модуля скоростной термообработки бурых углей, бесспорно, является рациональным решением, эффективным как с экономической, так и с экологической точки зрения.

Наибольшие проблемы в организации топочного процесса в таких топливосжигающих устройствах возникают из-за пониженной калорийности ВУС. По расчетным данным для ВУС, при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1{,}2$ (обычном для сжигания пылевидного топлива в топках котлов), адиабатическая температура в факеле составляет около 1410°С. Такая низкая температура приводит к замедлению воспламенения и выгорания факела. Известно, что сжигание ВУС, полученных из низкосортных бурых углей, обычно сопровождается значительным недожогом (до 10–20%).

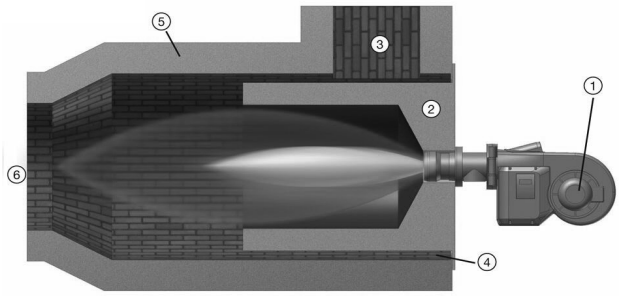

Рис.1 Конструктивная схема технологической камеры сгорания для сжигания ВУС 1 – горелка; 2 – кожух муфеля; 3 – спиральный кожух; 4 – кольцевая щель; 5 – камера сгорания; 6 – продукты сгорания.

Для обеспечения глубокого завершения процесса горения требуется снижение отвода

© Бреус В.И., Шестаков Н.С., Лейкам А.Э., Смирнов А.А., Андриенко В.Г.

теплоты при одновременном увеличении времени выгорания. При этом горение капель ВУС можно реализовать при относительно малых коэффициентах избытка воздуха α = 1,05 – 1,08.

При разработке конструктивной схемы технологической камеры сгорания для сжигания ВУС учитывался опыт ведущих отечественных и зарубежных фирм, полученный ими в процессе проектирования предтопков котлов и Muffle-генераторов (рис.1).

Технологические газы всасываются или подаются принудительно через спиральный кожух (3) внутрь камеры сгорания через кольцевую щель (4) между камерой сгорания (5) и кожухом муфеля (2). Здесь технологический газ смешивается с потоком основных продуктов сгорания от горелки (1). Смешение этих двух потоков обеспечивает на выходе заданную температуру горячих газов (6).

Использование в данной конструкции горячего муфеля позволяет снизить отвод теплоты в зоне горения, что способствует воспламенению и обеспечивает стабилизацию относительно низкотемпературного факела.

Данный конструктивный способ, способствующий стабилизации факела ВУС, в сочетании с тангенциальным подводом технологических газов на разбавление основных продуктов сгорания используется в конструкции опытного образца проектируемой камеры сгорания [3].

ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ ВУС В ОПЫТНОМ ОБРАЗЦЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Опытный образец камеры сгорания (рис.2) предназначен для сжигания водоуглесодержащей топливной суспензии. Образующиеся в результате сгорания ВУС дымовые газы используются для скоростной термообработки влажных бурых углей в экспериментальном комплексе произво-дительностью до 10 т/ч [3, 4].

Для обеспечения стабильного и эффективного горения ВУС при малых избытках воздуха α = 1,06 – 1,08 и заданном максимальном содержании O_2 в продуктах сгорания не более 1,9 % в конструкции камеры сгорания исключается возможность реализации традиционного конвективно-заградительного воздушного охлаждения пламенной трубы.

Пламенная труба камеры сгорания (1) выполнена с многослойной футеровкой, которая обеспечивает ее защиту без существенного снижения температур в пристеночной области и зоне активного горения, что является необходимым условием для стабильного и эффективного процесса горения ВУС. В головной части камеры сгорания соосно с пламенной трубой располагается муфель (2), способствующий воспламенению и стабилизации факела ВУС за счет снижения отвода теплоты от зоны горения. Концентрическое расположение муфеля в пламенной трубе обеспечивает равномерный кольцевой зазор между его наружной стенкой и внутренней поверхностью футеровки пламенной трубы. Для футеровки пламенной трубы и муфеля с огневой стороны используется огнеупорный муллитокорундовый кирпич, клиновая форма которого предотвращает возможность выпадения кладки при эксплуатации камеры сгорания [4].

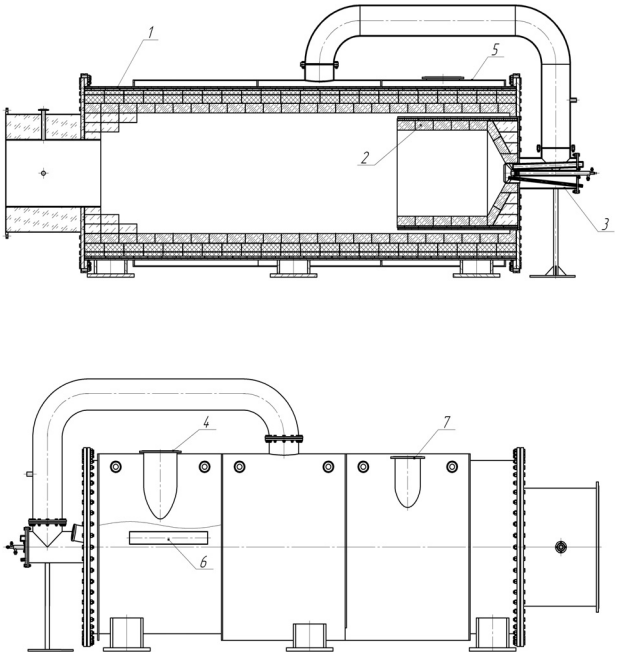

Рис.2 Опытный образец камеры сгорания для модуля скоростной термообработки бурых углей. 1 – пламенная труба; 2 – муфель; 3 – горелочное устройство; 4 – фланец газов рециркуляции; 5 – цилиндрическая обечайка; 6 – тангенциальный канал подвода дымовых газов; 7 – фланец подачи воздуха для окисления топлива.

Газы рециркуляции подаются через фланец (4) в кольцевую камеру образованную внешней цилиндрической поверхностью футерованной пламенной трубы и внутренней поверхностью наружной цилиндрической обечайки камеры сгорания (5). Далее дымовые газы поступают в кольцевой канал образованный наружной стенкой муфеля (2) и внутренней поверхностью пламенной трубы (1) через два симметрично расположенных канала одинакового прямоугольного сечения (6).

Газы рециркуляции, имеющие температуру 105°С, являются холодным теплоносителем по отношению к высокотемпературным продуктам сгорания и обеспечивают функцию охлаждения наружной стенки муфеля за счет струйного обдува закрученным потоком, движущимся по отношению к продуктам сгорания прямоточно. После прохождения кольцевого канала газы рециркуляции поступают в объем пламенной трубы за срезом муфеля и перемешиваясь с высокотемпературными продуктами сгорания выходящими из муфеля обеспечивают заданную температуру дымовых газов за камерой сгорания, которая составляет 700°С. Наличие в потоке дымовых газов рециркуляции остаточных тангенциальной и осевой составляющих скорости за срезом муфеля способствует тепловой защите огневой поверхности футеровки пламенной трубы. Интенсификации перемешивания газов рециркуляции с основным потоком продуктов сгорания способствует конфузорный участок на выходе из пламенной трубы.

Воздух, подаваемый на горелочное устройство (3) через фланец (7) поступает в кольцевой канал образованный наружной стенкой пламенной трубы и внутренней поверхностью наружных цилиндрических обечаек камеры (5). При прохождении кольцевого канала он омывает наружную стенку футерованной пламенной трубы и нагревается перед поступлением на лопатки завихрителя до температуры 100 °С, что способствует надежности воспламенения и стабилизации факела ВУС за счет увеличения температур в зоне активного горения.

ГОРЕЛОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

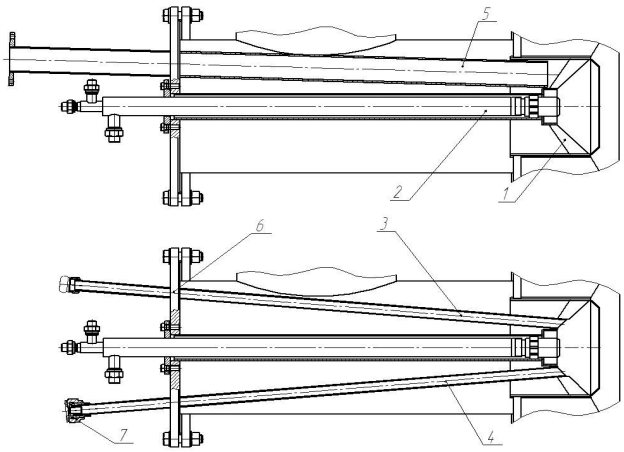

Рис.3 Горелочное устройство. 1 – лопаточный завихритель; 2 – комбинированная форсунка; 3 – установочная труба под датчик–реле контроля пламени; 4 – установочная труба под форсунку дизельного топлива; 5 – установочная труба под запальную горелку; 6 – установочный фланец; 7 – штуцер с гайкой для крепления форсунки дизельного топлива.

Воздушный завихритель (рис.3) горелки (1) установлен аксиально по ободу в головной части фронтового конуса муфеля. Комбинированная форсунка (2) установлена во втулке лопаточного завихрителя горелки соосно и ограничена по наружной поверхности внутренним диаметром втулки. Дизельный запальник (горелка запальная) и сигнализатор горения (датчик-реле контроля пламени) – фотодатчик устанавливаются в трубы, приваренные к установочному фланцу горелочного устройства (6).

При розжиге камеры сгорания пламя дизельного запальника инициирует воспламенение факела пускового дизельного топлива, который обеспечивает прогрев муфеля до температуры ~ 1100 °С, зажигание основного факела ВУС и его стабилизацию вплоть до выхода на рабочий режим. Расход дизельного топлива при этом может составлять до 10 % от расхода ВУС и может корректироваться в процессе пусконаладочных работ.

Подача пускового дизельного топлива, в зависимости от варианта исполнения горелочного устройства камеры [4], может осуществляться комбинированной пневмомеханической трехступенчатой форсункой (2) или типовой центробежной механической форсункой. Для уста-

новки последней в исполнении установочного фланца горелочного устройства предусмотрен штуцер с уплотнением и накидной гайкой (7).

При переходе камеры сгорания на основной режим работы – сжигание ВУС, форсунка дизельного топлива выводится из зоны горения в установочную трубу для сохранения аэродинамической структуры закрученного потока в зоне горения. Лопаточный завихритель горелки содержит 18 лопаток толщиной 2 мм, установленных под углом 45° к оси завихрителя, угол конуса регистра по входным кромкам лопаток составляет 90°.

Относительно высокие скорости воздуха, порядка 40 м/с в первичной зоне горения камеры сгорания, обеспечиваемые конструкцией лопаточного завихрителя, в сочетании с качественным распыливанием топлива, реализуемым комбинированной пневмомеханической форсункой (см. рис.4), позволяют интенсифицировать процесс смесеобразования топлива с окислителем в зоне активного горения, при коэффициенте избытка воздуха около 1,08. Это способствует повышению полноты сгорания топлива при относительно низких температурах в факеле ВУС порядка 1415°С.

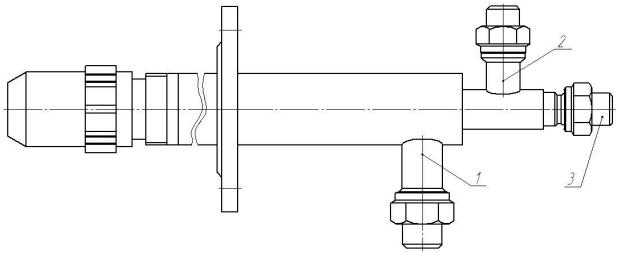

Рис.4 Комбинированная пневмомеханическая трехступенчатая форсунка. 1 – штуцер подвода распыливающего агента; 2 – штуцер подвода дизельного топлива; 3 – штуцер подвода ВУС.

Доокисление происходит далее по потоку продуктов сгорания, средняя скорость которых в пламенной трубе составляет 9,5 – 10,0 м/с. Расчетная форсировка пламенной трубы камеры сгорания, характеризующая ее теплонапряженность по сечению, составляет порядка 17Вт/м^2•Па, при этом форсировка высокотемпературного муфеля составляет 36Вт/м^2•Па.

В зависимости от варианта исполнения горелочного устройства камеры сгорания подача пускового дизельного топлива может быть реализована с помощью комбинированной пневмомеханической трехступенчатой форсунки (рис.4) или типовой центробежной механической форсункой (ТФ-200ДТ-20-1100).

Дизельное топливо подается через центральный канал комбинированной пневмомеханической форсунки (рис.5).

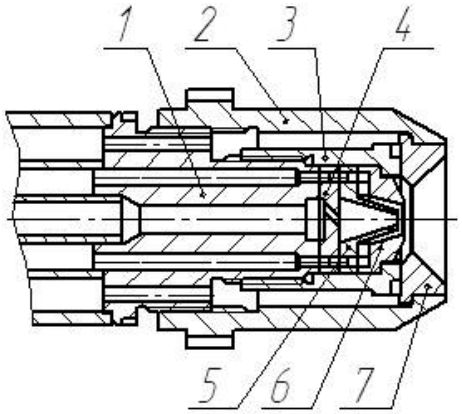

Рис.5 Головная часть комбинированной пневмомеханической форсунки. 1 – корпус распределителя; 2 – гайка накидная; 3 – воздушный завихритель; 4 – распределитель топливный; 5 – сопло первой ступени; 6 – сопло второй ступени; 7 – воздушное сопло.

ВУС и воздух – распыливающий агент подаются соответственно по промежуточному и по периферийному кольцевым каналам форсунки. Диаметры сопел распылителей дизельной ступени (5), ступени ВУС (6) и пневматической ступени (7) составляют соответственно 2,2, 7,0 и 14,0мм.

При использовании для подачи дизельного топлива простой односопловой центробежной механической форсунки (ТФ-200ДТ-20-1100), для распыливания ВУС используется стандартная пневмо-механическая форсунка конструкции ОАО «НПО ЦКТИ» выбранная по ОСТ 108.836.03-80.

Расход распыливающего воздуха на рабочей нагрузке составляет около 20% от расхода ВУС, что обеспечивает наиболее качественное распыливание ВУС. Оптимальное соотношение расхода распыливающего агента и расхода ВУС определяется в процессе пусконаладочных работ.

Распылители и распределители всех ступеней форсунок изготавливаются из твердого сплава в соответствии с технологией порошковой металлургии методом спекания. Это позволяет обеспечить необходимую износостойкость рабочих поверхностей распыливающих

элементов форсунки, что принципиально важно особенно при распыливании ВУС, характеризующимся существенным абразивным эффектом [7].

Конструкция горелочного устройства предусматривает возможность установки как стандартной пневмомеханической, так и трехступенчатой форсунки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы:

предложена теоретически и расчетно обоснованная оригинальная конструкция опытного образца камеры сгорания, позволяющая технологически реализовать сжигание низкокалорийного бурого угля при значении коэффициента избытка воздуха близком к стехиометрическому $\alpha = 1{,}08$ [3, 4];

разработаны два варианта исполнения горелочного устройства, отличающиеся конструкцией форсунок применяемых для подачи ВУС и дизельного топлива;

осуществлен выбор материалов для внутренней футеровки муфеля и пламенной трубы и камеры сгорания [4];

выполнен комплекс расчетов (общий тепловой и конструктивный расчет, позонные тепловой и гидравлический расчеты, расчет параметров футеровки камеры сгорания, расчет толщины наружной теплоизоляции корпуса камеры сгорания) [5, 6] определяющий основные рабочие характеристики камеры сгорания и подтверждающий работоспособность предлага-емой конструкции.

Анализ полученных результатов позволяет рекомендовать разработанную конструкцию камеры сгорания для проведения стендовых испытаний с целью оптимизации процесса горения ВУС.

При проведении стендовых испытаний опытного образца камеры сгорания в первом приближении можно рекомендовать следующую последовательность процедуры ее розжига КС при выхлопе в атмосферу:

При выбранном расходе и заданном абсолютном давлении воздуха на входе в КС до 0,11 МПа подают дизельное топливо на запальное устройство, пламя которого обеспечивает зажигание факела пускового дизельного топлива;

Расход дизельного топлива постепенно увеличивают до 111 кг/ч, обеспечивая прогрев огнеупорной футеровки (шамотного кирпича) не менее чем до 1100°С;

При достижении температуры воздуха на входе в камеру сгорания не менее 100°С начинают подачу ВУС в камеру сгорания, постепенно увеличивая ее расход до 1000 кг/ч. Выдерживают соответствующий данным расходам топлив режим работы в течение не менее 30 минут;

Постепенно увеличивая подачу ВУС до 1544,4 кг/ч, одновременно уменьшают подачу дизельного топлива вплоть до полного ее прекращения, при условии обеспечения стабильного горения факела ВУС и заданного содержания кислорода за КС не более 1,9 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.С. Ходаков, водоугольные суспензии в энергетике // М.: Теплоэнергетика, . 2007. - №1, с. 35-45
2. The statisstical analysis of the pilot commercial operational results of the power generation and delivery Complex Belovo-Novosibirsk. Proc, G.S. Khodakov // 19th Intern. Conf. on Coal Utilization and Fuel Systems. USA. Florida. 1994. P. 863-866.
3. Пояснительная записка к техническому проекту на опытный образец камеры сгорания для модуля скоростной термообработки бурых углей. Этап 1. ОАО «НПО ЦКТИ», С-Петербург, 2011г.
4. Пояснительная записка к рабочему конструкторскому проекту на опытный образец камеры сгорания для модуля скоростной термообработки бурых углей. Этап 2. ОАО «НПО ЦКТИ», С-Петербург, 2012г.
5. Отчёт по разработке методики пакета прикладных программ машинного проектирования камер сгорания ГТУ. НПО ЦКТИ, Ленинград, 1984г.
6. Установки газотурбинные и парогазовые. Расчет и проектирование камер сгорания. РТМ 108.022.11-83.
7. РД.121.102-88 Выбор основных технических требований к камерам сгорания стационарных газотурбинных установок.