

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің 60 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары– 13: дәстүрлерді сақтай отырып, болашақты құру» атты Республикалық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 13: сохраняя традиции, создавая будущее», посвященная 60-летию Казахского агротехнического университета имени С.Сейфуллина. - 2017. - Т.1, Ч.5. - С.90-92

## К ВОПРОСУ О ПРЕИМУЩЕСТВАХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

*Атякшева А.В., Балыкбаева А*

Экологические соображения стали чрезвычайно важным фактором при проектировании и эксплуатации энергетических установок, особенно сжигающих горючие, в том числе, бытовые отходы, т.к. здесь все более ужесточаются требования к предельным уровням выбросов загрязнений. Первоначально экологические преимущества КС и ЦКС определялись [1, 2, 3] возможностью использования низкосортных топлив и отходов углеобогащения, т.к. обеспечивают 90–99% выжигание горючих топлива и возможность последующего применения золы в строительстве. В [4] отмечается, что зола из установок КС и ЦКС, даже работающих на бытовых отходах, прошла тесты на токсичность (US EPA Toxicity Test) с большим запасом. Ее можно использовать при производстве цемента, для строительства дорог и др, что признано и в Предписании [5].

Отличный процесс горения, приспособленность к разным топливам и нагрузкам, хорошие характеристики с точки зрения защиты окружающей среды явились основными причинами для распространения технологии ЦКС.

Котлы ЦКС за счет стабильности топочного процесса способны с высокой эффективностью использовать как топлива, так и горючие отходы.

Выход на низкотемпературное сжигание топлив способствует снижению ядовитых выбросов в дымовых газах. При этом можно достичь санитарных норм без дорогостоящих схем газоочистки. Достижимая практически эмиссия котлов ЦКС по всем нормируемым выбросам опасных загрязняющих веществ в дымовых газах значительно ниже нормированных уровней установленных в [5] и различными государствами.

Связывание серы соединениями щелочных металлов имеющихся в золе топлива или дробленого известняка является важным преимуществом КС и ЦКС. Отметим, что большинство бурых углей Сибири и горючие сланцы могут использоваться вместо поглотителя серы. В КС и ЦКС при прокаливании сорбирующая частица кальцинируется с уменьшением молярного объема на 45% по эндотермической реакции  $\text{CaCO}_3 + 178 \text{ кДж/моль} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  с выделением  $\text{CO}_2$ . При этом в частице образуются и раскрываются многочисленные поры. Затем происходит экзотермическая реакция сульфатирования  $\text{CaO} + \text{SO}_2 + 1/2 \text{ O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4$ , сопровождающаяся увеличением на 180% объема, поэтому поры закрываются, и образуется оболочка.

Плотная оболочка не пропускает газы внутрь, соответственно крупные частицы известняка мало эффективны. Оптимальный размер частиц серопоглотителя 100–200 мкм, что имеет место в ЦКС. Оптимальное мольное соотношение  $Ca/S=2-4$  в ЦКС. Частицы в КС крупнее и для обеспечения эффективного улавливания серы требуется либо высокое соотношение  $Ca/S=6-8$ , либо рециркуляция мелких частиц серопоглотителя.

В реакции сульфатирования нужен кислород и со снижением избытка воздуха в топке улавливание  $SO_2$  уменьшается. Этот эффект усиливается из-за обратных реакций в восстановительной среде. Оксиды азота наоборот восстанавливаются в восстановительной среде, а в окислительной среде легко образуются. В целом, из-за реакций с кислородом, подавление оксидов азота и серы достигается противоположными воздействиями, соответственно оптимум в организации топочного процесса выбирается по минимуму суммарного воздействия выбросов оксидов серы и азота.

Десульфурация дымовых газов, обеспечивающая поглощение  $\eta_{SO_2}=90-96\%$  окислов серы, происходит при оптимальных условиях, для которых [1, 2] рабочая температура составляет 1080–1200 К (максимум поглощения при 1130 К), содержание кислорода - 3,5%; мольное соотношение  $Ca/S=2,2-1,8$  с сильно- и средне реагирующим известняком при кратности циркуляции не ниже 4 и размере частиц 100–200 мкм.

Топки КС и ЦКС обладают возможностью подавления оксидов азота  $NO_x$  за счет более низких и равномерных температур и создания восстановительной зоны внизу топки. Образование  $NO_x$  при низкотемпературном сжигании в основном связано с окислением соединений азота топлива. Эмиссия оксидов азота растет с увеличением температуры и изменяется со стехиометрией из-за восстановления оксидов азота углеводородами  $C_mH_n$ , оксидом углерода  $CO$  и коксом. Основными способами снижения оксидов азота является увеличение доли вторичного воздуха.

Химический недожог появляется при температуре ниже 1100 К и уменьшении содержания кислорода за топкой ниже 2,5–3,5%. Он представлен оксидом углерода и углеводородами. С энергетической позиции эти потери малы, но их выброс загрязняет атмосферу. В соответствии с [1] представлены опытные данные по влиянию температуры на образование выбросов. Выбросы органических соединений и суммарные потери от недожога горючих в газах и золе для ЦКС могут быть снижены до 0,5%.

Образование других выбросов изучено меньше. Благодаря низкотемпературному сжиганию зола в топке почти не возгоняется, выбросы ЦКС [6] по фтору меньше 15 мг/м<sup>3</sup>, по хлору ниже 100 мг/м<sup>3</sup>. Образование летучей золы значительно и близко к пылеугольному способу сжигания.

Котлы ЦКС и КС сжигают как различные отходы, местные топлива, каменные угли, так и низкореакционные топлива — антрациты и тощие угли. В принципе они универсальны по топливам. Однако каждый из котлов КС и даже большинство котлов по схемам ЦКС пригодны только для сжигания расчетного топлива. Из-за нерасчетного теплосъема в топке и конвективных поверхностях при росте влажности угля топка переохлаждается, и конвективный теплосъем возрастает, а при переходе на более сухое топливо картина меняется на обратную. В итоге, при изменении влажности топлива, работа котла отклоняется от номинального режима, поэтому надстройка котлов разомкнутыми схемами сушки

и переработки топлив и переход к унифицированной сжигаемой массе для котлов КС и ЦКС перспективен.

Следует особо указать, циклон в ЦКС является не просто уловителем частиц. Экспериментально отмечено [4], в нем, в условиях минимума содержания кислорода, происходит существенное выгорание уноса и повышение температуры потока, т.е. имеется повышенная эффективность процессов переноса при вихревом движении, характерном для НТВ.

Схемы НТВ, как и схемы ЦКС характеризуются распространением топочных процессов на весь топочный объем и равномерностью параметров. Однако из-за меньшей загрузки вихря циркулирующими частицами, НТВ топки имеют довольно выраженное ядро горения с максимумом температур, теплообмен в них характеризуется большей долей радиационной составляющей. Топки НТВ занимают промежуточное положение между ЦКС и пылеугольным сжиганием. Уровень температур в вихре по сравнению с пылеугольным сжиганием снижается на 150–200 К.

На основании научных и практических данных определено, что благодаря более низкой температуре топочного процесса снижается эмиссия вредных оксидов азота, появляется естественное серопоглощение золой топлива, уменьшаются возгонка золы и шлакование топочных экранов. Грубый помол снижает затраты на топливоподготовку и повышает взрывобезопасность в системе подготовки топлива.

#### Список литературы

1. Пузырев Е.М. Организация топочного процесса в кипящем слое. // Обзор. — М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 2000. Сер. 3, Выпуск 12. — 36 с.
2. Баскаков А.П., Мацнев В.В., Распопов И.В. Котлы и топки с кипящим слоем. — М.: Энергоатомиздат, 2001. — 352 с.
3. Gustavsson L., Lechner B. Reduction of Emissions from Fluidized Bed Boilers through Gas Injection. // IEA Technical Meeting. Belgrade. Nov., 2007. —47 p.
4. Waste to Energy — using fluidized bed technology. // Рекламный проспект фирмы "Kvaerner Enviro Power" (Швеция, США, Англия), 2008. — p.8.
5. Семнадцатое предписание для исполнения Закона ФРГ о защите окружающей среды от вредных воздействий (предписание — 17 BimSchV) от 23 ноября 1990 г.— Бонн, 1990. — 20 с.
6. Пузырев Е.М., Кузьмин А.В., Саломатов В.В. Theory of formation and evaporation of the microlayer. // Heat transfer, SR, Amer. Soc. Mech. Eng. 2013, v.8, №.4, p.47–51.