РАЗРАБОТКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СЖИГАНИЯ НИЗКОСОРТНЫХ ТОПЛИВ И ОТХОДОВ

Пузырев Е.М.
Научно-исследовательский центр ПО «Бийскэнергомаш» (г Барнаул
Сеначин П.К.
Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова

Повсеместно в России проблемы энергетики и экологии стали жизненно важными. Энергетический кризис стимулирует развитие промышленной и малой энергетики на основе дешевых местных топлив и горючих отходов. Их использование позволит решить экономические вопросы жилищно-коммунальных и промышленных предприятий, снизить себестоимость энергии.

Основным препятствием перехода на сжигание низкосортных топлив и отходов является сложность организации устойчивого топочного процесса, т.к. на сегодня нет качественной отечественной котельно-топочной техники [1, 2]. Разработку научных основ организации высокоэффективных технологий их сжигания и вовлечения в топливный баланс предприятий предлагается осуществить на базе низкотемпературных топочных процессов, пригодных для модернизации котлов.

Именно низкотемпературные технологии выбраны так как:

1. Согласно закону Аррениуса низкотемпературные технологии характеризуются пониженными скоростями горения и поэтому данный класс технологий обязательно содержат высокоэффективные механизмы стабилизации топочного процесса (есть большие массы или циркулирующие потоки горящих частиц и продуктов сгорания);

2. Низкие температуры горения, но оптимальные по конкурирующим процессам формирования вредных веществ, не дают высокой эмиссии оксидов азота и возгонов минеральной части топлив, позволяют минимизировать выбросы загрязнений;

3. Наличие потоков горячих циркулирующих частиц дает возможность создания разомкнутых схем термоконтактной топливоподготовки, позволяющих готовить и использовать универсальную (сухую) массу из различных топлив и отходов.

Например, в низкотемпературном кипящем слое [1, 2], большая масса горячих частиц удерживает много тепла, сохраняет постоянную температуру, нивелирует неравномерности концентрации и качества частиц топлива, позволяет сжигать топлива с зольность до 60-70%. Высокую эффективность так же имеют низкотемпературные вихревые топки, разработанные [3] в ЛПИ профессором В.В. Померанцевым.

На основе анализа современных тенденций развития котельно-топочной техники предложен комплексный концептуальный подход, оптимально объединяющий три технологии: термоконтактную сушку топлив, низкотемпературное сжигание в вихревых топках и низкотемпературный форсированный кипящий слой. При этом схема становится универсальной: влияние влаги исключается разомкнутой схемой термоконтактной сушки, а низкотемпературные технологии, особенно кипящий слой, не чувствительны к зольности. Влияние качества топлива нивелируется и топки, разработанные на основе такого комплексного подхода, становятся универсальными, могут применяться ко всем отходам и топливам: от высокореакционных сухих легких парусных частиц лузги до переувлажненных, липких, типа илов и до низкореакционных углей. Для легких частиц предпочтительно вихревое сжигание, для углей и тяжелых отходов – кипящий слой.

На рис.1 изображена одна из разработанных разомкнутых схем термоконтактной сушки. Она содержит топку *1* НТКС, питатель *2* горячих частиц, линию *3* возврата смеси частиц и топлива, питатель *5* угля, сушилку *4*, конденсатор паров *6* и тракт *7* удаления неконденсирующихся газов в топку. Термоконтактная сушилка *4* выполнена с механическим перемешиванием материала, а конденсатор *6* паров влаги топлива в виде скруббера. Процесс сушки сырого топлива в сушилке *4* идет благодаря контакту и за счет тепла материала слоя. Интенсивное механическое перемешивание дает возможность использовать в качестве топлива пастообразные массы, шламы и др.

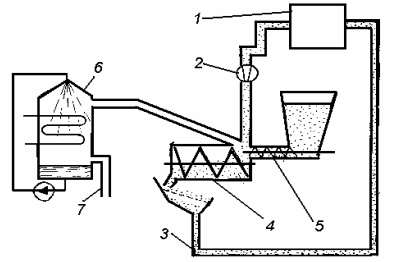

Рис.1. Схема термоконтактной сушилки с механическим перемешиванием.

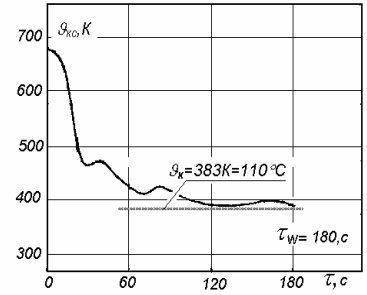

Рис.2. Термограмма сушки угля.

Т.к. сухая масса различных твердых топлив имеет примерно равные объёмы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания на единицу теплоты сгорания, поэтому при сжигании сухой массы не меняется рас-

пределение тепловосприятий от дымовых газов между поверхностями нагрева, и котлы с такими сушилками становятся универсальными.

Для обоснования технологических схем процессы сушки изучались экспериментально. По уравнению баланса тепла, в зависимости от массы и начальной температуры $\vartheta_{кс}(0)$ насадки, находилась требуемая масса пробы угля, обеспечивающая выход процесса на конечную температуру смеси $\vartheta_к$ (или конечную влажность $W_к$). На рис.2 показана типичная термограмма процесса с выделением температуры $\vartheta_к$.

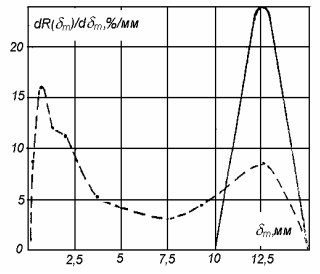

Рис.3. Дифференциальная функция распределения частиц угля: сплошная линия - исходный уголь 10-15 мм.

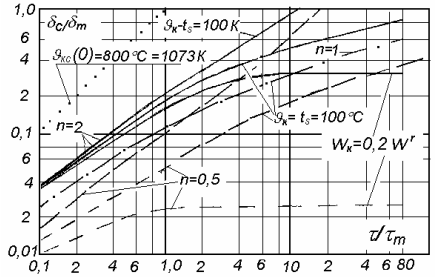

Рис.4. Динамика процесса сушки: зависимость размера высохших частиц - $x=\delta_c/\delta_{m0}$ от времени τ для полифракций угля; δ_{m0} максимальный размер частиц угля.

Исследуемый бурый уголь при сушке подвергался термическому дроблению, до 70% крупного угля (исходный размер 10...15 мм) самопроизвольно рассыпается на кусочки с размером 0,4...4 мм, рис.3.

Опыты были положены в основу теоретических моделей [4], номограмм, рис.4, и методик расчета изотермических и проточных схем термоконтактных сушилок. Для зерновой характеристикой угля, подчиняющейся закону Розина-Раммлера, $R(y)= exp\ [-m(y)^n]$, с показателем полифракционности n на основе теории получены решения для динамики сушки и средней влажности топлива:

$$W_{cp} = \int_0^{\infty} \frac{W(y)}{100}(dR/dy)dy = W^r\left[R(\delta_c) - x(m)^{1/n}\,\Gamma\left(\frac{n-1}{n}, mx^n\right)\right],$$

где $\Gamma(\alpha,Z)$ неполная гамма функция.

Для проточной схемы [4] динамика сушки определяется траекторией процесса в координатах x - τ, т.е. зависимостью размера просох-

ших частиц $x = \delta_c / \delta_{mo}$ от времени и описывается интегральным уравнением, рис.4:

$$\frac{6\alpha_{кс}[\vartheta_{кс}(0) - t_s]\tau}{0{,}01 i'' \rho_0 \delta_m W^r} = \frac{\tau}{\tau_m} = \int_0^x \frac{[\vartheta_{кс}(0) - t_s]dx}{\theta_{кс}(0) exp[a(W_{ср} - W^r)] - i''/c_n}.$$

Теоретические модели и технологические схемы организации низкотемпературного кипящего слоя (НТКС) рассмотрены в [5]. Здесь дано их обоснование опытами, численным и огневым моделированием.

Топки НТКС обеспечивают кпд котлов на уровне 80-85%, низкие выбросы оксидов серы и азота. Они применимы в котлах малой и средней мощности, в том числе путем реконструкции типового оборудования, проводимой НИЦ ПО «Бийскэнергомаш». В котлах с НТКС могут сжигаться угли и отходы с теплотой сгорания - более 1500 ккал/кг; зольностью - до 65%; влажностью до 60%, размер частиц топлива до 20-25мм. Топки установлены более чем в 35 новых и реконструированных котлах мощностью до 42т/ч, спроектированных с использованием разработанной на основе нормативного метода методики инженерного расчета котлов. Топки обеспечивают увеличение мощности котлов на 20-50% от номинальной, повышение экономичности и снижение выбросов.

Для реализации выдвинутой концепции были предложены конкретные технологические схемы и конструкции вихревых топок:

– для сухих мелких отходов схемы с газификацией, с рециркуляцией дымовых газов и частиц, радиальные, многокамерные и комбинированные;

– для влажных топлив схемы с организацией слоевых топочных процессов на наклонном колоснике и организацией двухстороннего воспламенения;

– для стабилизации факельного и слоевого горения схемы с тангенциальной подачей дутья и формированием вихря в топке или в зоне её газовыпускного окна.

Из-за сложности аэродинамики для обоснования и оптимизации предложенных вихревых топок были созданы стендовые установки. На стендах в котельной НИЦ ПО «Бийскэнергомаш» совместно со Щуренко В.П. были испытаны и оптимизированы модели восьмигранной, рис.5, шестигранной, с наклонным колосником, двухкамерной с наклонным подом, радиальных, и других предложенных конструкций вихревых топок.

Численное моделирование и анализ результатов, рис.6, проведенные совместно с Алтуховым Ю.А. и Лейкамом А.Э., ещё на начальных

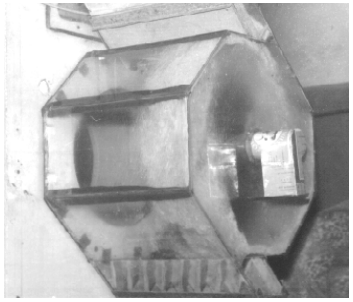

Рис. 5. Аэродинамика в модели с удержанием вихревого слоя частиц.

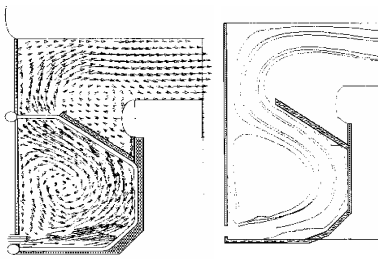

Рис.6. Расчетные траектории: движения газа (слева) и выноса частиц (справа) в первоначальной схеме вихревой топки котла Е-16-21-350 ГМДВ.

стадиях разработок, показали недостатки схемы НТВ ЛПИ. Расчеты вихревых течений также показали их высокую эффективность для решения задач оптимизации топочного процесса (выбор геометрии топки, схемы подачи дутья и др.).

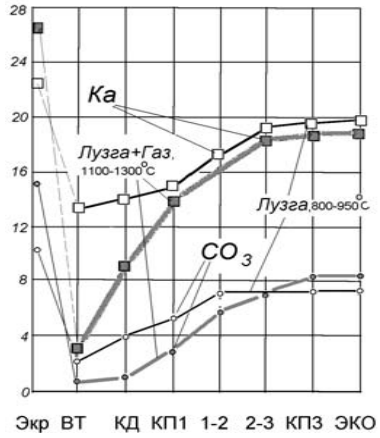

Рис.7. Содержание калия К и карбонатов CO_3^{2+} в пробах отложений в зависимости от их расположения по ходу дымовых газов и температуры в топке.

Создание вихревых топок явилось примером новой высокоэффективной разработки. Топки применены для сжигания лузги, древесных отходов и водоугольного топлива в 34 котлах мощностью до 25 т/ч, установленных в 24 котельных. Их использование расширяется и считается одним из основных направлений Бийского котельного завода, ЗАО ПО «Бийскэнергомаш», НИЦ ПО БЭМ и других фирм.

При сжигании лузги подсолнечника возникли и проблемы. В ходе топочного процесса наблюдается интенсивное слипание и укрупнение частиц золы. Из более глубоких анализов найдено, что высокотемпературная обработка золы влияет в наибольшей степени на содержание калия *К* и карбонатов

CO_3^{2+} в отложениях. По аномально высокой концентрации K и CO_3^{2+}, рис.7, на экранах, в том числе и в тупиковых зонах, видно, что образование отложений золы имеет конденсационный механизм формировании из возгонов. Возгонка и перенос калия и карбонатов из раскаленных частиц золы и отложений в холодные зоны возрастает при включении газовой горелки, когда температура в зоне факела увеличивается до 1100–1300 С. Режимные мероприятия, прежде всего разработанные низкотемпературные топочные процессы, на сегодня обеспечили и гарантируют работу всех введенных котлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баскаков А.П., Мацнев В.В., Распопов И.В. Котлы и топки с кипящим слоем. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 352 с.
2. Пузырев Е.М. Организация топочного процесса в кипящем слое / Обзор. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1990. Сер. 3. Вып. 12. -36 с.
3. Померанцев В.В., Арефьев К.М., Ахмедов Д.Б. и др. Основы практической теории горения. - Л.: Энергоатомиздат. 1986. –312 с.
4. Пузырев Е.М. Термоконтактная сушка в кипящем слое // Техника псевдоожижения (кипящего слоя) и перспективы ее развития: Всесоюзная научно-техническая конференция. – Черкассы: Изд-во НИИТЭХИМ,1988. С.44-48.
5. Пузырев Е.М., Сидоров А.М., Скрябин А.А. и др. Обоснование применения технологии форсированного кипящего слоя // Теплоэнергетика. Физико-технические и экологические проблемы, новые технологии: Сб. научных трудов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. Вып. 6. – С. 133–146.