

УДК.621.18:662.9

ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ДЛЯ РАСТОПКИ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ

Вальцев Н.В., Берг Б.В., Рыжков А.Ф., Осипов П.В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Эффективная конверсия низкорекреационных топлив требует создание высоких температур и скоростей нагрева. Так, в работе [1] показано, что для достижения степени конверсии антрацита 90% за время пребывания 0,1 с необходима температура 2300°C.

Однако, в ряде технологий можно обойтись умеренным уровнем температур с сохранением минеральной части в твердой фазе, с воздухом в качестве окислителя и применением частичной газификации. Примерами могут служить:

- реакторы для получения карбонизированного топлива;
- реакторы термохимической конверсии для гибридных ПГУ;
- горелочные устройства с предварительной термохимической подготовкой топлива;

Применительно к котельной технике технология низкотемпературной термохимической конверсии в поточном реакторе проводится по двум основным направлениям:

- безокислительный пиролиз в реакторе с неизолрованными стенками по образцу стандартных горелочных устройств ;
- окислительный пиролиз в адиабатном реакторе по образцу муфельной горелки.

Технология низкотемпературной химической конверсии может реализовываться в различных температурных диапазонах.

В низкотемпературном диапазоне (до 300°C) без воздуха идет процесс торрефакции, который применяют для обработки биомассы с целью получения из нее хрупкого горючего продукта (биоугля), приближающегося по свойствам к углю, который можно молоть в обычных мельницах для непосредственного его сжигания в пылеугольных котлах либо газификации, или формирования топливных брикетов для транспортировки.

При уровне температур 450-470°C разработан процесс переработки влажных топлив в термоуголь с помощью скоростного нагрева в вихревых камерах, в результате чего происходит выделение всей влаги и небольшой доли летучих, используемой для поддержания температурных условий процесса.

При повышении температуры до уровня 600-900°C, как в безокислительной среде, так и с подачей воздуха, возможно получение из бурых и высокорекреационных каменных углей топливных газов, которые можно использовать для последующей растопки котлов или догрева циклового воздуха гибридной угольной ПГУ.

Физической основой для разработки технологий низкотемпературного сжигания/газификации являются исследования кинетических характеристик их взаимодействия с окислителем.

Исследования кинетики выгорания высокорреакционных топлив проводились на установках Пиролиз-М и РСК-1 (Институт угольных энерготехнологий НАН Украины) и приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 (каф. ТЭС Уральского федерального университета) на примере волчанского бурого угля (малозольный концентрат ВБУ₋, исходный уголь ВБУ, высокозольные отходы (ВБУ₊) и их коксы), который, как выяснилось в процессе опытов, является более реакционным, чем коксы известных топлив (наблюдаемая энергия активации E_a горения углерода кокса ВБУ составляет 70 кДж/моль, ВБУ₋ – 60 кДж/моль). Горение кокса происходит во внутридиффузионной области, лишь для ВБУ₊ был обнаружен внутрикинетический режим. Для сравнения на графике указаны характеристики горения некоторых украинских углей.

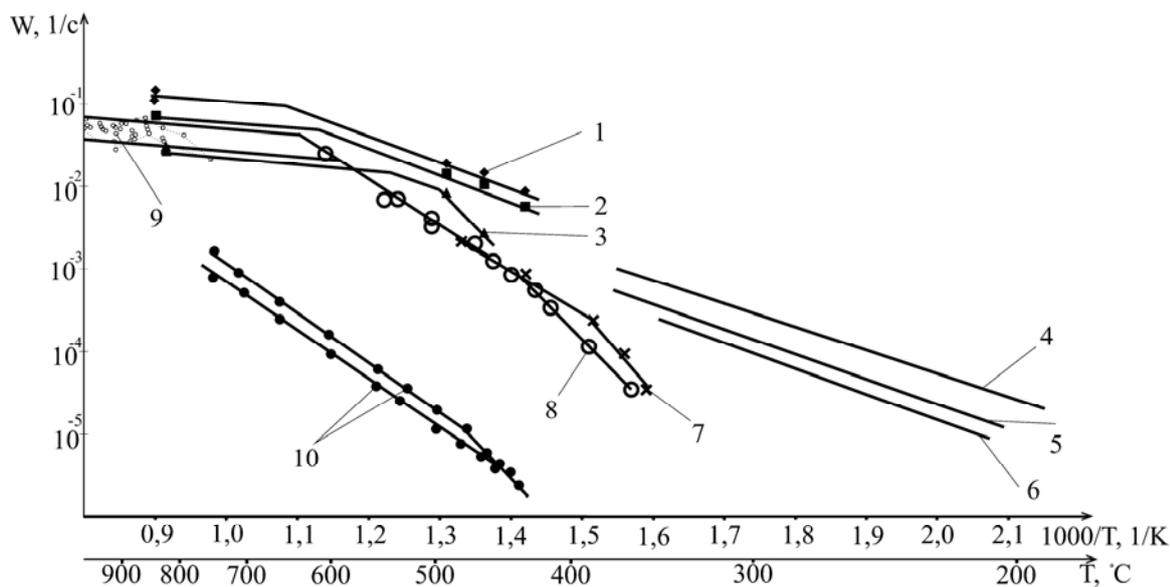


Рис. 1. Зависимость скорости взаимодействия углей и коксов с кислородом воздуха от обратной температуры: 1 – (ВБУ₋); 2 – (ВБУ); 3 – (ВБУ₊); 4, 5, 6 – ВБУ (ТГА, 5-20 К/мин); 7 – АБУ ($A_d=9,4\%$, $d_{ch}=1,25-1,6$ мм); 8 – АБУ ($A_{dk}=47,3\%$, $p=0,87$ МПа, $d_{ch}=0,4-0,6$ мм); 9 – АБУ ($A_d=16-18\%$, $d_{ch}=1,0-2,5$ мм); 10 – АШ ($A_{dk}=46,1\%$, $d_{ch}=0,4-0,6$ мм).

Результаты исследований подтверждают обоснованность применения технологии низкотемпературной конверсии для высокорреакционных топлив, так как повышение температуры не дает значительного увеличения скорости горения. Существенный эффект может дать лишь кардинальное изменение рабочего диапазона температур с применением высокотемпературного термоудара по аналогии [1], что однако усложнит ведение процесса.

Изучение протекания низкотемпературной термохимической конверсии проводилось на экспериментальной установке, схема которой изображена на (рис. 2).

В опытах использовался уголь Баганурского месторождения (Монголия). Это бурый уголь марки Б2 третьей группы взрывоопасности с низшей теплотой сгорания $Q_{нр} = 14,6$ МДж/кг. Зола легкоплавкая ($t_w = 1144^\circ\text{C}$).

В лабораторных экспериментах для получения более жестких условий бралась грубая пыль (0 – 500 мкм), а гидродинамическая обстановка не соответствовала полной картине в опытно-промышленном реакторе.

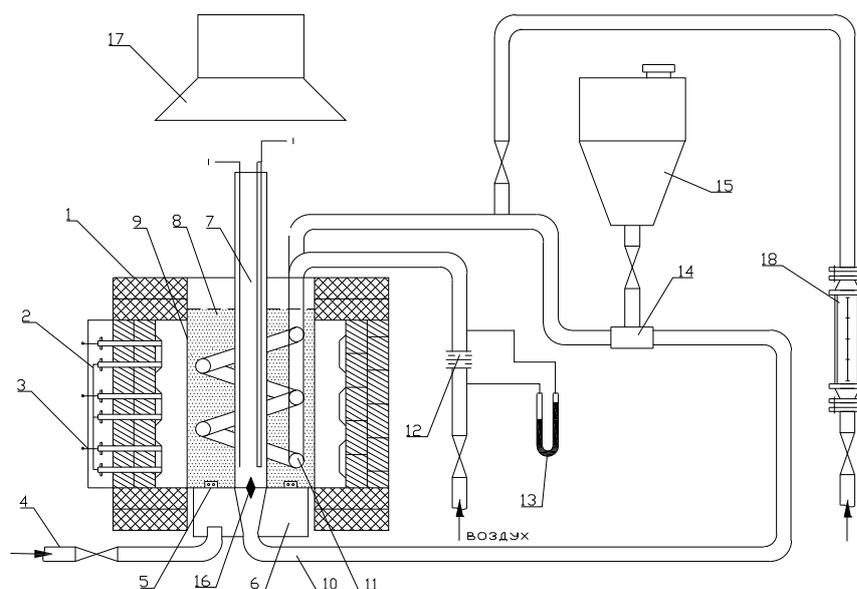


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 -- кожух установки; 2, 3 -- электрические нагреватели; 4 -- подача воздуха на псевдооживление; 5 -- воздухораспределительные колпачки; 6 -- газораспределительная решётка; 7 -- центральная труба; 8 -- слой псевдооживленных частиц; 9 -- реторта; 10 -- пылепровод; 11 -- воздухонагреватель; 12 -- диафрагма; 13 -- дифманометр; 14 -- инжектор-смеситель; 15 -- бункер топлива; 16 -- сопло; 17 -- зонт вытяжной вентиляции; 18 -- ротаметр воздуха для подмешивания

Установка работала в двух режимах:

- неполного горения с $\alpha = 0,9$, температурой стенки реактора $\sim 785^\circ\text{C}$, температурой воздуха – 200°C ;
- частичной газификации с $\alpha = 0,6$, температурой стенки реактора $\sim 875^\circ\text{C}$, температурой воздуха – 400°C .

Высокая температура горячего воздуха во втором опыте частично имитировала разогрев за счет обратных токов.

Как и следовало ожидать, увеличение температуры стенки экспериментального канала и снижение коэффициента избытка воздуха α способствуют увеличению выхода горючих газов CO и CH₄, следовательно, увеличению теплоты сгорания горючей смеси на выходе из установки. Так, в первом случае максимальный выход оксида углерода (CO) составил 6,1%, метана – 0,3%; во втором – 12,1 и 1,5%; теплота сгорания газов 900 кДж/м³ и 2073 кДж/м³ соответственно. Теоретическая температура горения смеси, выходящей во втором эксперименте при ее температуре 900°C составит примерно 1650°C.

В результате экспериментов на выходе из установки получен бедный газ, однако выходящий при достаточно высокой температуре, что значительно повышает теоретическую температуру горения и дает возможность организовать стабильное горение факела в необогреваемом пространстве. Повышение теоретической температуры горения бедных газов при их нагреве до 900°C показано на (рис. 3). В качестве подтверждения можно сослаться на многолетний опыт растопок котлов на доменном газе, например на центральной тепловой электро-

станции Магнитогорского металлургического комбината при теплоте сгорания газа $Q_{н}^p = 3200-4200$ кДж/м³ (теоретическая температура горения холодного доменного газа с теплотой сгорания 3940 кДж/м³ составляет 1500°С [2]). Если принять температуру 1500°С в качестве лимитирующей, то минимальная теплота сгорания газа, на котором можно провести растопку, составляет около 1700 кДж/м³. Такой газ может быть использован либо на собственные нужды установки, например для поддержания рабочего уровня температур в карбонизаторе, либо в дальнейшем технологическом процессе – для нагрева циклового воздуха в гибридной ПГУ или для растопки пылеугольного котла.

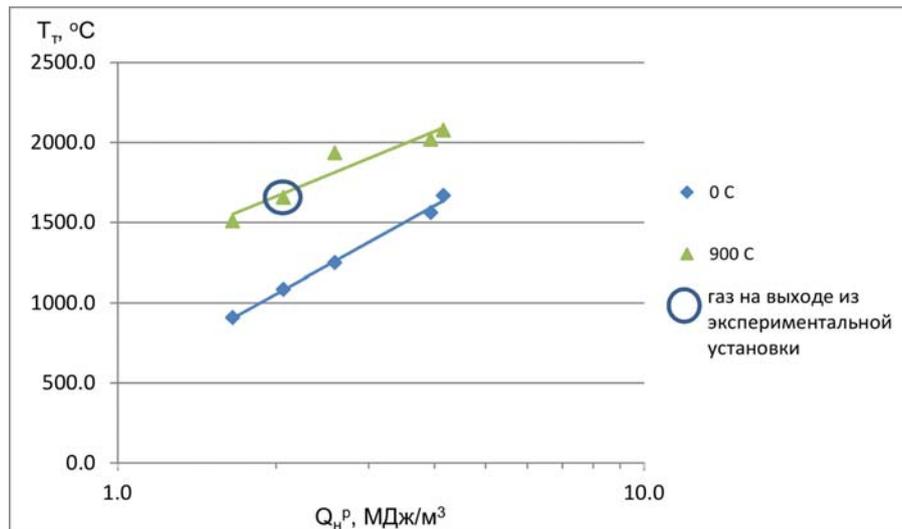


Рис.3. Теоретическая расчетная по [2] температура T_g горения искусственных газов при температуре 0 и 900 °С.

Технология низкотемпературной термохимической конверсии отработана на растопочной горелке для котла БКЗ-75 [3] (рис.4).

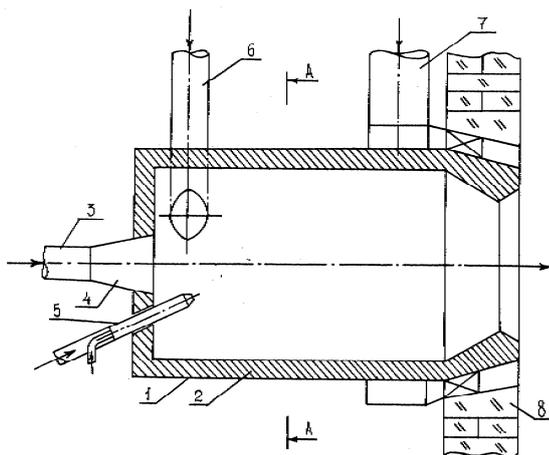


Рис. 4. Схема растопочной пылеугольной горелки

1 – корпус с огнеупорной излучающей обмуровкой – 2 (туннель, муфель, предтопок); 3 – соосный обмуровке патрубок подачи пылевоздушной смеси со щелевым устьем – 4; 5 – две одинаковых вспомогательных жидкотопливных или газовых горелки, размещенных симметрично относительно продольной оси щелевого устья патрубка (выходной части пылевой трубы); 6 – подвод части вторичного воздуха; 7 – подвод основной части вторичного воздуха; 8 – обмуровка топки.

В горелке идут процессы окислительного пиролиза и частичной газификации, образующиеся газообразные продукты горят, дополнительно нагревая угольную пыль, что способствует интенсификации прогрева пылевоздушного потока.

Работа растопочной горелки организована по принципам построения горизонтальных циклонных предтопок, относительно широко использовавшихся в свое время для сжигания дробленого и пылевидного топлива в полувосстановительной среде в высокотемпературном режиме с жидким шлакоудалением и реже – в низкотемпературном режиме с твердым шлакоудалением.

При разработке конструкции горелки выдержаны основные рекомендации для горизонтальных циклонов: это малая длина $L = 1,2$ м и диаметр $D = 0,8$ м близок к $D_{\text{мин}} = 1,1$ м. Ввод пылевоздушной смеси – аксиальный, вторичного воздуха – тангенциальный, благодаря этому, вращающийся с высокой скоростью поток увлекает угольные частицы, значительно увеличивая их время пребывания при сохранении малой длины горелки, и создает зону обратных токов к корню факела, облегчая воспламенение.

Вследствие центробежного эффекта, наиболее сильного в головной части муфеля, плоско-коническая пылеугольная струя разрывается и втягивается во вращательное движение. Освобожденная таким образом приосевая зона заполняется обратными токами регенерации продуктов окислительного пиролиза и неполного горения.

Растопочная горелка предназначена для получения раскаленных горючих газов и кокса, которые, догорая внутри топочной камеры, прогревают котел, тогда как циклонные предтопки создавались для полного сжигания крупного, зачастую низкосортного топлива до частиц с размером < 10 мкм, в силу чего, имеется ряд отличий:

– горелка имеет слабokonическую развернутую вовне выходную горловину, благодаря чему не создается вентильный эффект, а частицы угольной пыли транспортируются по закрученной траектории практически без изменения их размеров;

– работает в низкотемпературном режиме ($700-900^{\circ}\text{C}$) с малым избытком воздуха $\alpha \sim 0,5$;

– выдает бедный топливный газ и значительное количество нелетучего углерода (коксового остатка).

При работе циклона в низкотемпературном режиме возможна организация следующих процессов: нагрев, пиролиз (выход летучих), крекинг и окисление летучих, горение коксового остатка в кислороде воздуха, и невозможны газификационные процессы (с CO_2 и H_2O), вернее скорость их ничтожна.

Расход воздуха, подаваемого в горелку $\alpha \sim 0,5$ – примерно соответствует $\alpha_{\text{летучих}}$ для бурого угля, таким образом, если представить, что в горелке процесс газовой выделения будет закончен, то из нее будет выходить CO_2 , H_2O и кокс. С другой стороны $\alpha \sim 0,5$ – это $\sim \alpha_{\text{гф}}$ – полной безостаточной газификации.

Можно заметить, что в горелке при сохранении восстановительной атмосферы одновременно протекают:

- а) выход летучих и их частичное окисление
- б) неполное горение нелетучего углерода

Из горелки выходит смесь раскаленных газов (CO , CO_2 , CH_4 , H_2 , H_2O с плотой сгорания газа ~ 2000 кДж/м³) и кокса, сгорающая в холодной топке котла в диффузионном факеле.

Запас топлива, находящегося единовременно в объеме горелки, больше, чем при факельном процессе, но, поскольку частицы между собой не взаимодействуют, их спекания в объеме не происходит. Другое негативное явление – шлакование ограждающих поверхностей – может происходить при повышении температуры свыше 1200°C . Такое явление наблюдалось при попытках интенсификации дожигания горючей смеси, истекающей из горелки, за счет организации третичного дутья по обычной схеме. При его отключении интенсивность догорания снизилась и шлакования не наблюдалось.

Растопочная горелка хорошо зарекомендовала себя при испытаниях на котле БКЗ-75 ТЭЦ-3 г. Улан-Батора. Сравнение работы горелки с лабораторным экспериментом показало, что при выдерживании идентичного времени пребывания увеличение скорости потока пылевзвеси в условиях циклонного эффекта, наличие токов рециркуляции и использование пыли более тонкого помола значительно улучшили теплофизические условия работы горелки и позволили обеспечить устойчивую работу горелки при малой длине.

Все это позволяет говорить о перспективности технологий низкотемпературной термохимической конверсии для карбонизации и частичной газификации высокореакционных топлив в различных технологических процессах.

Литература

1. Чернявский Н.В., Бондзик Д.Л. Динамика термического разложения угольного вещества при высокотемпературном термоударе // Современная наука: идеи, исследования, результаты, технологии. Сборник научных статей. №3 (11). – Киев: «НПВК Триакон», 2012. С. 135-142.
2. Равич М.Б. Эффективность использования топлива. – М.: «Наука», 1977.
3. Пат. 2174649 (РФ). Растопочная пылеугольная горелка и способ её работы / Берг Б.В., Микула В.А. Действует с 08.06.1999, зарегистрирован 10.10.2001 Бюл. №28.