

УДК 662.61/.65

КОВАЛЕНКО Г.В., ХЛЕБНИКОВ О.Е., ХАЛАТОВ А.А.

Институт технической теплофизики НАН Украины

СЛОЕВОЕ СЖИГАНИЕ БРИКЕТИРОВАННОГО БУРОГО УГЛЯ И ЕГО СМЕСЕЙ С ДРЕВЕСИНОЙ

Підігрів вторинного повітря на 80 °С при двохстадійному спалюванні бурого вугілля зменшує викиди оксиду вуглецю в 1,3...1,5 рази. Брикетування бурого вугілля, а також застосування дистанціонуючих прошарків з викидних матеріалів робить його паливом, що переважає по якості торфові брикети. Сумісне спалювання бурого вугілля і деревини при значних її частках (50%) призводить до зменшення концентрації оксиду вуглецю на величину до 40%.

Подогрев вторичного воздуха на 80 °С при двухстадийном сжигании бурого угля уменьшает выбросы окиси углерода в 1,3...1,5 раза. Брикетирование бурого угля, а также применение дистанционирующих прослоек из бросовых материалов делает его топливом, превосходящим по качеству торфяные брикеты. Совместное сжигание бурого угля и древесины при значительных ее долях (50%) приводит к уменьшению концентрации окиси углерода на величину до 40%.

The preheating of secondary air on 80 °C at two-stage incineration of brown coal decreases injection of carbon oxide in 1.3 - 1.5 times. The briquetting of brown coal and also applying spacer grid from waste materials makes its quality as a fuel better than peat cakes ones. Joint incineration of brown coal and wood at its considerable portion (50 %) decreases in carbon oxide concentration by quantity up to 40 %.

G – забор газа на анализ;

t_1 – температура газов на входе в камеру дожигания;

t_B – температура газов в газоходе на выходе из печи;

t_{II} – температура газов на выходе из воздухоподогревателя;

V_B – скорость газов на выходе из теплогенератора;

τ – время;

Украина располагает значительными запасами бурых углей, добыча которых возможна открытым способом и, следовательно, будет дешевой. В настоящее время принято решение о строительстве крупной тепловой электростанции, использующей эти угли. К их недостаткам относятся высокая влажность, низкая калорийность и прочность. На установках мощностью до 100 кВт влажные топлива рационально сжигать в слоевых топочных устройствах. По интенсивности горения слоевой процесс обладает большими преимуществами по сравнению с факельным. Однако интенсификация горения, которой обычно достигают с помощью увеличения скорости продуваемого через слой воздуха, приводит к выносу из слоя частиц, которые не успевают сгореть в пределах топочной камеры. Поэтому наличие в слое топлива значительного количества мелких фракций не дает возможности повысить теплонапряжение зоны горения, чтобы использовать возможности слоевого процесса. Для сжигания в неподвижном слое низкая прочность бурых углей Днепровского бассейна делает их не конкурентно способными даже с торфяны-

ми брикетами. Известна зависимость качества слоевого сжигания твердых топлив от порозности слоя и температурных условий [1–3].

В настоящей работе была предпринята попытка обеспечить приемлемую порозность слоя путем брикетирования топлива и использования искусственного каркаса из бросовых материалов, а также улучшить качество сжигания подогревом вторичного воздуха.

По методике, представленной в [2], определялся оптимальный с точки зрения максимальной мощности теплогенератора размер кусков топлива. Цилиндрические брикеты из бурого угля Ново-Дмитровского месторождения Днепровского бассейна с размерами: диаметр 39 мм и высота 100 мм изготавливались прессованием с применением давления 40 МН. В качестве связующего использовалась добавка 1% древесной смолы. Порозность слоя из указанных брикетов составила 0,52. Для создания каркаса, удерживающего разрушающиеся в процессе горения куски угля, применялась стальная стружка – отходы токарной обработки. Слой брикетов чередовался со слоем стружки, толщиной около 1 см. По-

розность слоя брикетов со стружкой составила 0,59. Низшая теплотворная способность топлива и его влажность были $Q_H^P=7,96$ МДж/кг, $W^P=38\%$.

Опыты производились на трехкамерном теплогенераторе малой мощности с неподвижной колосниковой решеткой, позволяющем осуществить двухстадийное сжигание топлива. Сравнивались два варианта теплогенератора с различным соотношением первичного и вторичного воздуха и разной степенью подогрева вторичного воздуха. Схема теплогенератора приведена на рис. 1. В начале опыта топливо **1** в количестве 6 кг подавалось через входную дверцу **2** в первичную камеру **3** на колосниковую решетку **4** и поджигалось. Воздух самотягой поступал в полость **5** между корпусом **6** и тепловой изоляцией **7**. Воздух разделялся на первичный **8** и вторичный **9**. Первичный воздух из полости **5** через

каналы **14** с развитыми теплообменными поверхностями **15** подавался под колосниковую решетку **4** в первичную камеру **3**, где происходило сжигание топлива при недостатке окислителя. Для увеличения времени пребывания продуктов реакции в зоне высоких температур поток топочных газов направлялся в обход щитка **11** в камеру с опускным ходом **12**. Вторичный воздух **9**, подаваемый в камеру **10** через тангенциальные щели, обеспечивал перемешивание и дожигание продуктов пиролиза. После дожигания в камере **10** газы выбрасывались в газоход **16**. Несгоревшая часть топлива проваливалась через колосниковую решетку в зольник **17**.

Различия между двумя вариантами теплогенератора следующие. В первом варианте соотношение расходов первичного и вторичного воздуха было 6 к 4, во втором — 9 к 1. Если в первом варианте

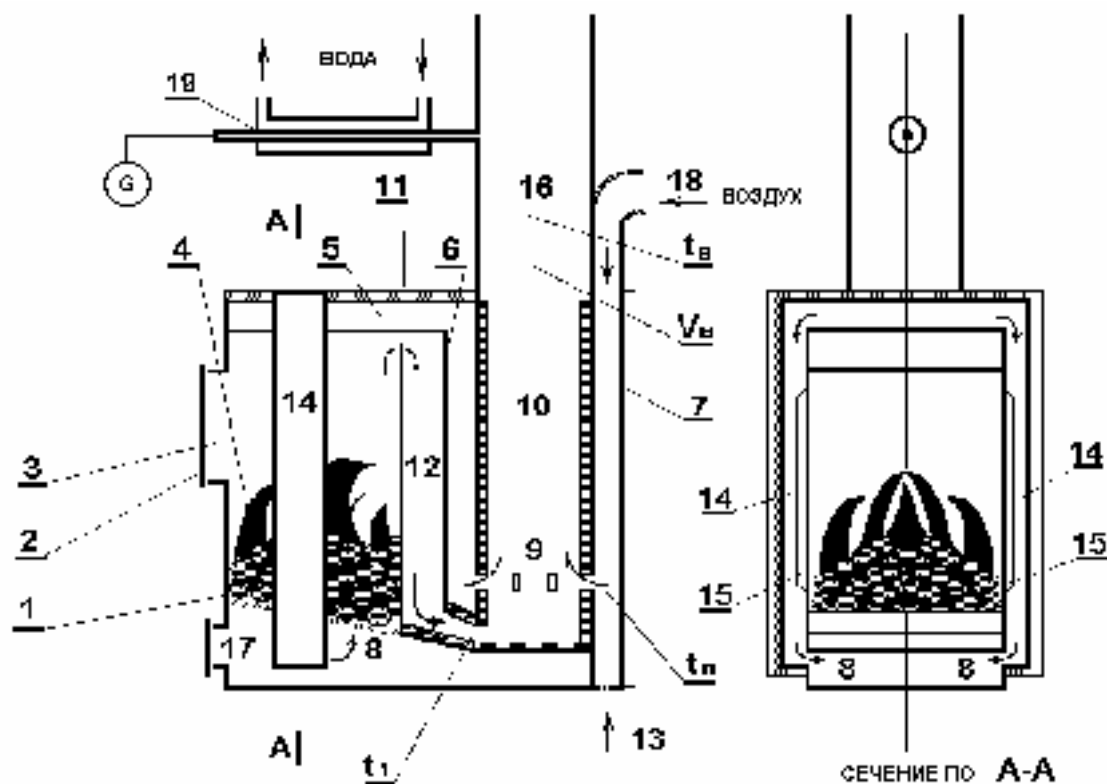


Рис. 1. Схемы исследованных печей.

1 – топливо; **2** – входная дверца; **3** – первичная камера; **4** – колосниковая решетка; **5** – полость подачи и подогрева воздуха; **6** – корпус; **7** – тепловая изоляция; **8** – первичный воздух; **9** – вторичный воздух; **10** – камера дожигания; **11** – щиток; **12** – дополнительная камера с опускным ходом газов; **13** – вариант подачи воздуха с малым подогревом; **14** – коробка для подачи первичного воздуха под колосниковую решетку; **15** – ребра для интенсификации теплообмена с воздушной стороны; **16** – газоход; **17** – зольник; **18** – вариант подачи воздуха с большим подогревом, (штриховыми линиями изображены элементы, изменяющие величину подогрева воздуха); **19** – устройство для отбора проб газа.

площадь поверхности теплообмена вторичного воздуха с нагретым корпусом теплогенератора составляла $0,08 \text{ м}^2$, то во втором — $0,46 \text{ м}^2$. На рис. 1 изменяемые элементы конструкции теплогенератора показаны прерывистыми линиями. В первом варианте вход воздуха в теплогенератор осуществляется по стрелке 13, во втором по стрелке 18.

В процессе опытов измерялись и регистрировались следующие параметры:

1. Давление, температура и скорость воздуха на входе в печь;
2. Температура на входе в камеру дожигания t_1 ;
3. Температура t_b , скорость V_b и состав газа в выходном газоходе;
4. Вес и состав загружаемого топлива, а также время его горения.

На рис. 2 приведены результаты опытов по сжиганию отходов древесины (сосна) в двух вариантах теплогенератора. Характерные размеры кусочков древесины — $50 \times 25 \times 10 \text{ мм}$. Влажность древесины составляла 8%.

Из-за развитой поверхности теплообмена в теплогенераторе второго варианта температура вторичного воздуха (в градусах Цельсия) примерно в 9 раз выше, чем в первом варианте. Колоколообразность кривых изменения t_1 и t_b объясняется тем, что в начальный период (восходящий участок кривой) происходит горение летучих горючих, а на нисходящей ветви — горение коксового остатка. В первом варианте (сплошные кривые) большое количество холодного вторичного воздуха, поступающего в камеру дожигания, разбавляет продукты сгорания и приводит к тому, что температура газов на выходе значительно (более чем на $200 \text{ }^\circ\text{C}$) ниже, чем температура на входе в камеру дожигания. Настоящее двухстадийное сжигание происходит только во втором варианте теплогенератора, когда температуры t_1 и t_b в значительный период времени по крайней мере равны. Результаты газового анализа, проведенного с помощью хроматографа „Газохром 3101”, приведены в прямоугольниках, отнесенных к соответствующему моменту времени. Концентрации CO и NO_x пересчитаны на случай, когда коэффициент избытка воздуха равен единице. Большие концентрации окиси углерода на восходящих ветвях кривых t_1 объясняются тем, что место отбора проб закалочного устройства 19 расположено на $0,75 \text{ м}$ ниже сечения окончания горения летучих горючих. При горении коксового остатка

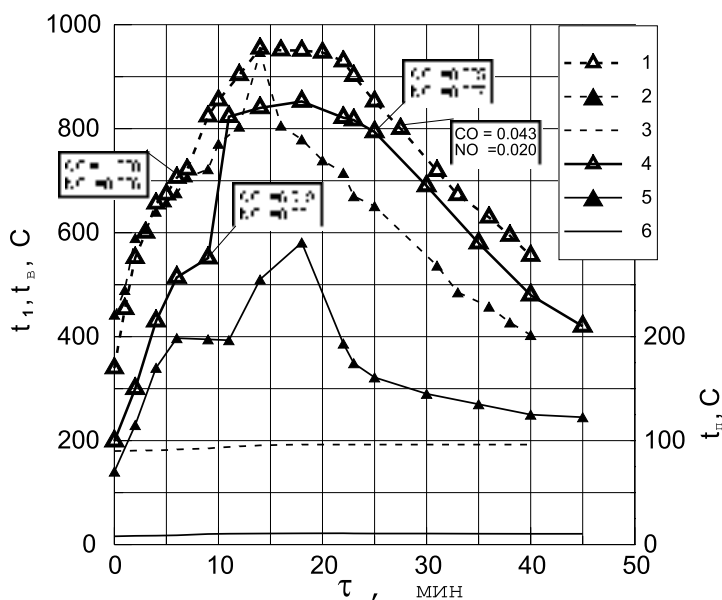
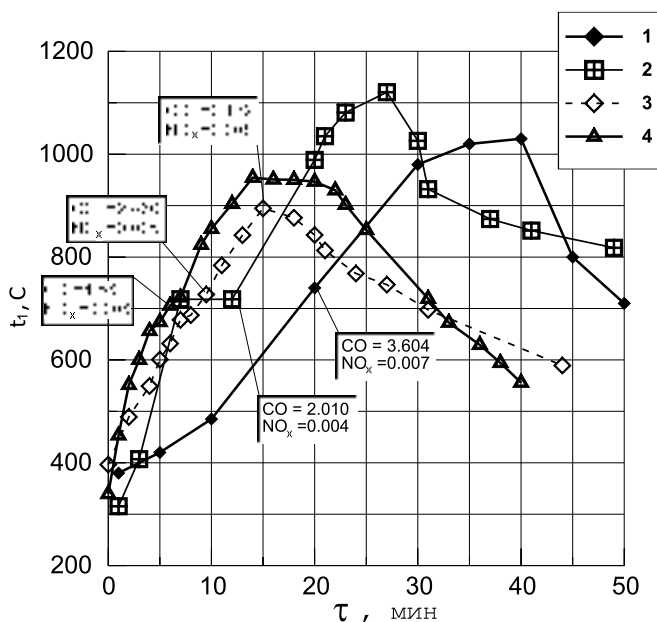


Рис. 2. Сжигание отходов древесины в теплогенераторах с различным подогревом вторичного воздуха. Температуры газов на входе в камеру дожигания — t_1 , на выходе из теплогенератора t_b и температура вторичного воздуха t_n . Большой подогрев вторичного воздуха (второй вариант теплогенератора): 1 — t_1 ; 2 — t_b ; 3 — t_n ; малый подогрев вторичного воздуха (первый вариант теплогенератора): 4 — t_1 ; 5 — t_b ; 6 — t_n (для кривых без точек шкала температур справа). (В прямоугольниках — результаты газового анализа в соответствующие моменты времени.)

(нисходящие кривые t_1) процесс окисления заканчивается до места отбора проб и характеризуется значениями концентраций CO на два порядка меньшими. Сравнение результатов газового анализа, относящихся к двум вариантам теплогенератора можно заключить, что увеличение подогрева вторичного воздуха на $80 \text{ }^\circ\text{C}$ приводит к уменьшению концентрации окиси углерода в 1,3...1,5 раза.

В последнее время увеличивается количество исследований, посвященных горению смесевых топлив. Оказывается, что процесс совместного сжигания топлив, отличающихся температурой выхода летучих горючих, позволяет не только уменьшить выбросы окиси углерода, но и окислов азота [4]. В некоторых странах совместное сжигание ископаемых топлив и биомассы поощряется законодательно [5].

В связи с тем, что процесс слоевого сжигания низкокалорийного бурого угля несовершенен, были про-



Температура газов на входе в камеру дожигания при сжигании бурого угля и его смесей с древесиной.

1 – бурый уголь; 2 – 50% бурого угля и 50% древесины; 3 – 75% бурого угля и 25% древесины; 4 – 100% древесины. (В прямоугольниках – результаты газового анализа в соответствующие моменты времени.)

ведены опыты по его сжиганию в смеси с отходами древесины. На рис. 3 приведены зависимости температуры на входе в камеру дожигания от времени при горении чистого бурого угля, чистой древесины и их смесей. Отметим, что применение брикетирования бурого угля и использования дистанционирующих слоев стальной стружки обеспечило гидравлическую «прозрачность» слоя топлива. При этом скорость газов в выходном газоходу в процессе сжигания 6 кг навески топлива изменялась в сравнительно узком диапазоне 0,90...1,5 м/с несмотря на то, что брикеты бурого угля в процессе горения разрушались. Сравнение результатов газового анализа в процессе горения летучих в диапазоне мало отличающихся температур показывает, что при примерно одинаковой концентрации NO_x содержание CO в уходящих газах имеет минимум при добавке 50% древесины. Вполне возможно, что этот вывод изменится после сдвига положения точки отбора проб вверх по газоходу. (В [6] наблюдалась линейная зависимость уменьшения вредных выбросов от концентрации древесины в исходном топливе.) Однако, благотворность добавок

древесины к бурому углю при соевом сжигании не вызывает сомнений. 50% смесь этих компонентов показывает по крайней мере на 40% меньшие выбросы CO , чем другие варианты смесей.

Выводы.

1. Подогрев вторичного воздуха на 80°C уменьшает выбросы окиси углерода в 1,3 – 1,5 раза при сохранении стабильного уровня выбросов окислов азота.

2. Брикетирование бурого угля, а также применение дистанционирующих прослоек из бросовых материалов делает его вполне приемлемым топливом для слоевого сжигания.

3. Совместное сжигание бурого угля и древесины в некоторых случаях приводит к уменьшению концентрации окиси углерода на величину до 40%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов И. И., Халатов А. А., Гелетуха Г. Г., Кобзарь С. Г., Шевицов С. В. Характеристики газогенератора обращенного типа тепловой мощностью 50 кВт, работающего на древесных отходах // Промышленная теплотехника. – 1998. – т. 20. – № 1. – С. 50–53.
2. Хлебников О. Е., Коваленко Г. В., Халатов А. А. Исследования 2-х стадийного сжигания торфа, бурого угля и их смесей с древесиной // Промышленная теплотехника. – 2005. – т. 27. – № 2. – С. 67–72.
3. Коваленко Г. В., Хлебников О. Е., Халатов А. А. Исследования сжигания торфа и его смесей с древесиной в 2-х и 3-х камерных топках // Промышленная теплотехника. – 2005. – т. 27. – № 3. – С. 50–55.
4. Ryohei Miura and others. Research & development for coal and woody biomass co-firing technology in Japan // 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy. Pp. 1223–1226.
5. Hotchkiss R., Matts D., Riley G. Co-combustion of Biomass with Coal – The Advantages and Disadvantages Compared to Purpose-built Biomass to Energy Plants // VGB Power Tech 12/2003. Pp. 80–85.
6. Nussbaumer T. Combustion and co-combustion of biomass // 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17–21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands. Pp. 31–37.

Получено 22.07.2005 г.