

УДК 662.87:662.65

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПЫЛЕВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НИЗКОСОРТНЫХ ТОПЛИВ

В.В. Дробчик, [А.М. Шиляев*], Г.Г. Волокитин*

Томский политехнический университет

*Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: drobchik@tpu.ru

Исследованы условия сжигания топливной смеси, состоящей из пылевидного каменного угля Кузбасского бассейна и шлифовочной древесной пыли. Доказано, что стабильное самовоспламенение потока пылевоздушной смеси достигается через 5...7 мин после разогрева плазменного модуля. Установлено расстояние от среза сопла модуля, где достигается максимальная температура в смеси 700...900 °С, при которой происходит интенсивное горение частиц топлива.

Ключевые слова:

Плазменное воспламенение, низкосортное топливо, розжиговый канал, открытая электрическая дуга, температура потока, аэросмесь.

Key words:

Plasma ignition, low-grade fuel, lighting channel, open plasma arch, stream temperature, aero mix.

Развитие теплоэнергетики характеризуется увеличением доли использования низкосортных топлив, что объясняется ограниченностью запасов качественных высококалорийных органических видов топлива.

Воспламенение и поддержание стабильного уровня горения таких топлив основано на использовании дополнительного топлива или применении устройств электродугового розжига [1, 2]. Преимущество применения устройств электродугового розжига заключается в том, что они:

- исключают дополнительное высококалорийное топливо — мазут на стадии розжига и поддержания стабильных условий горения и значительно снижают выбросы оксидов серы, азота и ванадия в атмосферу [2–4];
- обеспечивают надежность и устойчивость работы электродуговой установки;
- имеют высокую экономичность преобразования электрической энергии в тепловую;
- позволяют варьировать мощность в широких пределах при использовании низкорекреационных топлив.

Разработка технологий плазменного воспламенения низкорекреационного топлива для решения проблем большой энергетики ведется коллективами ученых Института теплофизики и Института теоретической и прикладной механики г. Новосибирска, Казахского НИИ энергетики. Практическая реализация изучается и осваивается на Гусиноозерской ГРЭС и др. [1, 2].

Технология плазменного воспламенения основана на взаимодействии частиц топлива с высокотемпературным потоком электродуговой плазмы, при этом происходит первичная термохимическая подготовка топлива, резкий прогрев частиц, подаваемых на горение, интенсифицируется выход летучих составляющих, обеспечивающих стабильно горящий факел.

За счет применения электродуговой плазмы можно использовать топливные смеси, содержащие основную часть низкосортного топлива, такого как древесные отходы деревообрабатывающих предприятий, торф, шламы тепловых станций с невысоким содержанием горючих компонентов.

В лаборатории Томского государственного архитектурно-строительного университета «Плазменные процессы и аппараты» для исследования процессов плазменного розжига низкосортного твердого топлива открытой электрической дугой создана экспериментальная лабораторная установка [5, 6], на которой исследовано сжигание топливной смеси, состоящей из пылевидного каменного угля Кузбасского бассейна и шлифовочной древесной пыли завода ДСП г. Томска.

Элементарный химический состав горючей массы каменного угля, влажность и зольность топлива, применяемого в эксперименте — $C^r=88\%$; $H^r=4,3\%$; $S^r=0,7\%$; $N^r=1,9\%$; $O^r=5,1\%$; $W^r=15\%$; $A^c=20\%$. Элементарный химический состав горючей массы древесины, влажность и зольность топлива — $C^r=51\%$; $H^r=6\%$; $N^r=0,5\%$; $O^r=42,5\%$; $W^r=3\%$; $A^c=1\%$.

На рис. 1 показана схема измерений температуры и скорости потока воспламеняемой аэросмеси. Достоверность полученных данных определялась использованием методов диагностики, обеспечивающих возможность получения результатов измерений с погрешностью не более $\pm 10\%$. Для проведения экспериментов приготовлены составы с различным соотношением угля и древесины (У:Д 10:90; 25:75; 50:50; 75:25; 90:10). Пылевидная смесь топлива подавалась секторным дозатором — 5 и напорным вентилятором — 9 транспортировалась в плазменный модуль — 4, где поток аэросмеси взаимодействовал с плазменной дугой.

Преимущество используемого устройства с горячей дугой между формирующим поток плазмообразующего газа катодом — 3 и графитовым электродом — 4 заключается в том, что при сближении электродов происходит образование плазменного канала, который обеспечивает стабильное горение смеси.

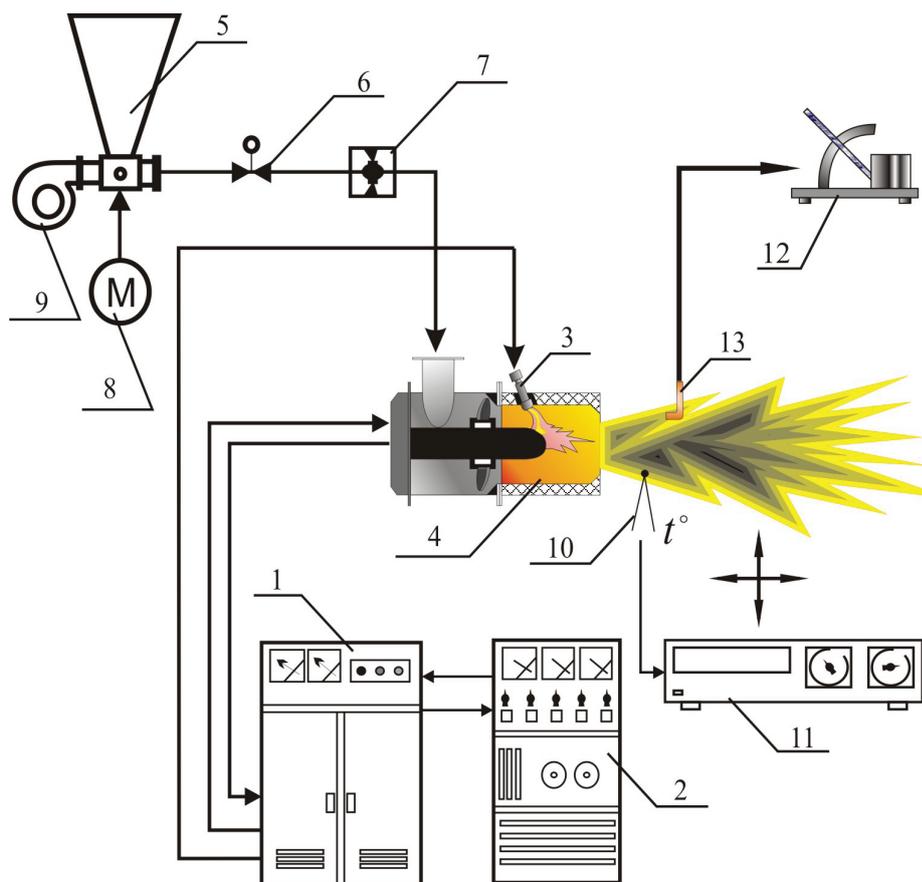


Рис. 1. Схема измерений температуры и скорости потока воспламеняемой аэросмеси на выходе плазменного модуля: 1) источник питания; 2) пульт управления; 3) катодный узел; 4) плазменный модуль; 5) дозатор топлива; 6) шибберная заслонка; 7) ротационный расходомер; 8) управляемый двигатель постоянного тока; 9) напорный вентилятор; 10) вольфрам-рениваемая термопара; 11) милливольтметр; 12) микроманометр; 13) трубка Пито

тродом (анодом) заключается в том, что топливная смесь подается в плазменный модуль – 4, где горит открытая электрическая дуга (рис. 1) с более высокой степенью ионизации газа в зоне воспламенения топлива по сравнению со струей линейного плазматрона.

Проведенная серия экспериментов заключалась в измерении температуры горящего потока на оси факела на различных расстояниях от среза сопла плазменного модуля (внутренний диаметр муфеля 200 мм, диаметр графитового электрода 75 мм, диаметр сопла 60 мм). Плазменный модуль – 4 является камерой термохимической подготовки топлива к сжиганию. Внутренняя поверхность плазменного муфеля обмурована бадделеитокорундовым материалом; снаружи муфель изолирован каолиновой ватой, что обеспечивает практически адиабатические условия во внутренней области. Перед плазменным модулем для увеличения времени нахождения частиц топлива в высокотемпературной зоне вынесенной плазменной дуги установлен узел закрутки потока аэросмеси.

На выходе плазменного модуля наблюдался устойчиво горящий факел, температура воспламененного потока в котором измерялась вольфрам-

рениевой термопарой, установленной на координатном устройстве, позволяющим перемещать её по осевой и радиальной координатам и позиционировать с точностью 1 мм. Измерения проводились на оси факела при различном удалении термопары от среза сопла плазменного модуля.

По полученным экспериментальным данным построены графики распределения температуры на оси факела при сжигании различных смесей топлива, рис. 2.

Фракционный состав пылевидной топливной смеси, сжигаемой в ходе экспериментов, определен методом последовательно установленных циклонов [7]. Исследования проводили на установке, описанной в [8]. При анализе угольной пыли получено: медианный размер частиц $\delta_{50}=40$ мкм, дисперсия $\sigma=2,5$.

Следует отметить, что при снижении коэффициента избытка воздуха менее 0,2 уменьшается эффективность пневмотранспорта. Происходит оседание частиц топлива по всей длине плазменного модуля.

При подаче аэросмеси в плазменный модуль наблюдалось повышение устойчивости горения плазменной дуги, что отмечалось в работе [9].

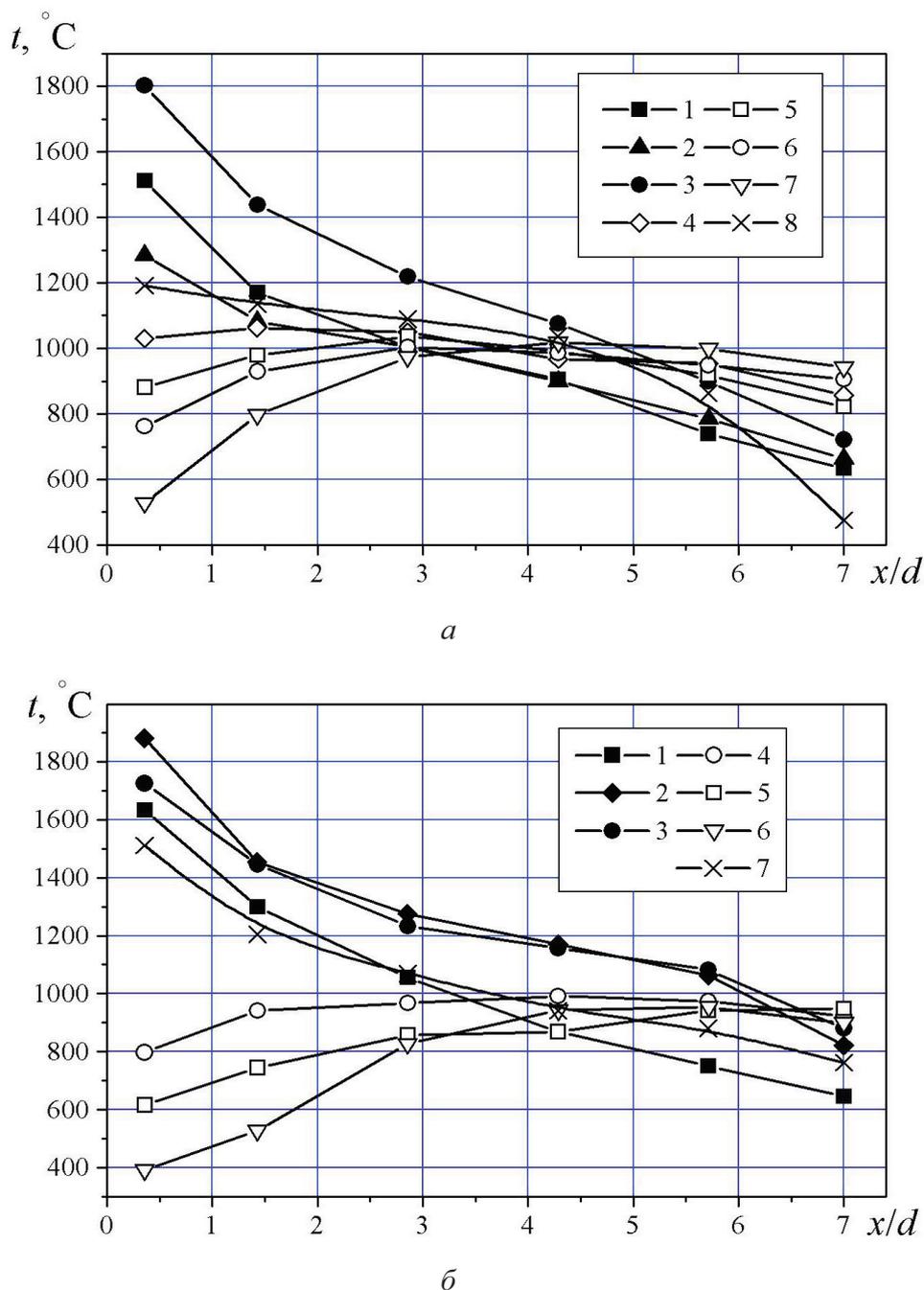


Рис. 2. Распределение температур на оси факела при сжигании смешанного топлива: а) (Y:D=25:75): 1-3) плазменный розжиг (N=30,4 кВт); 4-8) горение топлива; 8) горение 100 % древесины; б) (Y:D=75:25): 1-3, 7) плазменный розжиг (N=34,2 кВт); 4-6) горение топлива; 7) горение 100 % угля. x/d – соотношение диаметра сопла к расстоянию от среза сопла горелки

В процессе экспериментального исследования установлено, что при большем содержании в топливной смеси древесины максимальная температура газа в факеле наблюдается вблизи среза сопла плазменного модуля; это объясняется сгоранием большей части древесины в области взаимодействия частиц с плазменной дугой.

Замечено, что при малом содержании в смеси угольных частиц (до 25 %) факел удлиняется. Это

связано с более продолжительным горением летучих древесины в газовой фазе, обеспечивающим благоприятные условия для горения коксового остатка угля.

Максимальная температура 700...900 °С воспламененной смеси при отключенном электродуговом устройстве наблюдается на расстоянии 3–4 калибров от сопла плазменного модуля. В этой области происходит интенсивное горение частиц топлива,

подаваемых напорным вентилятором в зону взаимодействия пылевоздушного потока с электрической дугой. Стабильное самовоспламенение пылевоздушной смеси происходит после разогрева плазменного модуля, который наступает через 5...7 мин после начала проведения экспериментов (кривые 4–6 на рис. 2).

Из графиков (рис. 2) видно, что при горении только древесной пыли наблюдается уменьшение длины факела (кривая 8 на рис. 2, а), а при совместном сжигании древесины и угля (до 25 %) факел стабилизируется и горит более устойчиво (кривые 5–7 на рис. 2, а). При сжигании смеси с большим содержанием угля и незначительным добавлением древесины наблюдается увеличение температуры в устье факела (кривые 1–3 на рис. 2, б) по сравнению с горением угля (кривая 7). В этих условиях стабилизируется горение пылевоздушного факела и обеспечивается полнота сгорания топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков М.Ф., Аньшаков А.С., Лукашов В.П., Перегудов В.С. Электродуговые плазмотроны и перспективность применения низкотемпературной плазмы в энергетике // Высокотемпературные течения и теплообмен / под ред. М.Ф. Жукова. – Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1990. – С. 3–46.
2. Жуков М.Ф., Карпенко Е.И., Перегудов В.С. и др. Плазменная безмазутная растопка котлов и стабилизация горения пылеугольного факела. – Новосибирск: Наука, 1995. – 304 с.
3. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е. Введение в плазменно-энергетические технологии использования твердых топлив. – Новосибирск: Наука, 1997. – 119 с.
4. Жуков М.Ф., Калинин Р.А., Левицкий А.А., Полак Л.С. Плазмохимическая переработка угля. – М.: Наука, 1990. – 200 с.
5. Шияев А.М., Волокитин Г.Г., Дробчик В.В. Системы плазменного розжига низкосортных топлив для теплоагрегатов малой энергетики // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 315. – № 2. – С. 220–224.
6. Волокитин Г.Г., Шияев А.М., Никифоров А.А., Карандашов С.К. Разработка сушильного агрегата с плазменным розжигом и стабилизацией горения твердотопливного пылевоз-

Выводы

1. Исследовано сжигание топливной смеси, состоящей из пылевидного каменного угля Кузбасского бассейна и шлифовочной древесной пыли, показана возможность эффективного плазменного сжигания топливных смесей, состоящих из комбинации различных видов низкосортного топлива, что повышает коэффициент использования топливно-энергетических ресурсов регионов.
2. Установлено, что после разогрева плазменного модуля 5...7 мин и при последующем отключении электродугового устройства наблюдается стабильное самовоспламенение потока пылевоздушной смеси.
3. Определена максимальная температура 700...900 °С при горении пылевоздушного потока, достигаемая на расстоянии 3–4 калибров от среза сопла, где происходит интенсивное горение частиц топлива.

душного факела // Актуальные проблемы строительного материаловедения: Матер. Всеросс. научно-техн. конф. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 1998. – С. 176–177.

7. Шияев А.М., Рекунов В.С., Наумкин А.Б. К методу последовательно установленных циклончиков определения фракционного состава порошков // Архитектура и строительство. Наука, образование, технологии, рынок: Тезисы докл. научно-техн. конф. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2002. – С. 87–88.
8. Шияев М.И., Шияев А.М., Афонин П.В., Кобякова Ю.Н. Энергетический принцип сопоставления и компоновки пылеулавливающего оборудования // Очистка и обезвреживание дымовых газов из установок, сжигающих бытовые отходы и мусор / под ред. д.ф.-м.н. С.В. Алексеенко и д.т.н. А.С. Басина (Сб. научно-техн. работ). – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 1999. – С. 167–179.
9. Энгельшт В.С., Сайченко А.Н., Окопник Г.М., Мусин Н.У. Высокотемпературная трехфазная дуга для стабилизации горения пылевидного угля // Генераторы низкотемпературной плазмы: Тезисы докл. XI Всес. конф. – Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР, 1989. – С. 255–256.

Поступила 12.03.2010 г.