

На правах рукописи

Дробчик Виталий Викторович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАЖИГАНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ
ГОРЕНИЯ ПЫЛЕВИДНЫХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ
УСТРОЙСТВА С ВЫНЕСЕННОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ**

Специальность: 05.14.04. –
Промышленная теплоэнергетика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2004

Работа выполнена в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН и Томском государственном архитектурно-строительном университете.

Научный руководитель:

– доктор технических наук
Клименов Василий Александрович

Официальные оппоненты:

– доктор технических наук, профессор
Буянтуев Сергей Лубсанович

– кандидат технических наук, доцент
Лебедев Борис Владимирович

Ведущая организация: **Региональный центр управления энергосбережением, г. Томск**

Защита состоится «29» июня 2004 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета К 212.269.04 Томского политехнического университета по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета по адресу: г. Томск, ул. Белинского, 53.

Автореферат разослан «28» мая 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Заворин А.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из направлений развития теплоэнергетики является разработка новых технологий, позволяющих использовать низкосортные топлива и при этом обеспечить хорошие эколого-экономические показатели энергетического объекта.

На практике предлагается множество конструктивных решений для эффективного сжигания низкосортного топлива. Отмечаются вихревые способы, способы сжигания в псевдоожигенном состоянии, широко распространено применение факельного способа сжигания, который доминирует при выборе технологии. Для обеспечения эффективного воспламенения и поддержания стабильного уровня горения таких топлив при факельном сжигании используется дополнительное высокорекреационное топливо или применяются устройства электродугового розжига. Разработка технологий плазменного воспламенения низкорекреационного топлива для решения проблем энергетических производств высокой мощности ведется коллективами ученых Института теплофизики и Института теоретической и прикладной механики СО РАН г. Новосибирска, Казахского НИИ энергетики; практическая реализация изучается и осваивается на Гусиноозерской ГРЭС и др.

Преимущества применения устройств электродугового розжига заключаются в том, что они позволяют исключить дополнительное высококалорийное топливо на стадии розжига и поддержания стабильных условий горения и значительно снизить вредные выбросы оксидов серы, азота и ванадия в атмосферу.

Плазменный розжиг основан на взаимодействии частиц топлива с высокотемпературным потоком электродуговой плазмы, при этом происходит первичная термохимическая подготовка топлива, осуществляется резкий прогрев частиц, подаваемых на горение, интенсифицируется выход летучих составляющих, обеспечивающих стабильно горящий факел.

В настоящее время ведется интенсивный поиск способов повышения эффективности воспламенения топлив на установках энергетических производств малой мощности, относящихся главным образом к системам промышленной теплоэнергетики. Это может быть реализовано на основе применения электрических устройств, генерирующих вынесенную плазменную дугу непосредственно в топливном потоке. При этом взаимодействие частиц топлива с ионами и электронами высокой концентрации электродуговой плазмы увеличивает интенсивность химического реагирования топлива.

Отмеченное выше характеризует актуальность создания эффективных электродуговых устройств, генерирующих вынесенную плазменную дугу в потоке аэросмеси, для решения проблем малой энергетики при детальном

изучении зажигания и поддержания стабильного уровня горения низкосортных полидисперсных топлив высокотемпературным плазменным потоком.

Таким образом, *целью диссертационной работы* являются исследование зажигания и стабилизации горения пылевидного твердого топлива электродуговым устройством с вынесенной плазменной дугой, горящей непосредственно в топливном потоке, и разработка технологии плазменного розжига и поддержания стабильного горения топлив для решения проблем энергетических производств малой мощности.

Научная новизна работы:

- экспериментально и теоретически обосновано применение электродугового устройства с вынесенной плазменной дугой для зажигания и стабилизации горения пылевидных топливных смесей; разработана конструкция плазменного модуля;

- экспериментально определена граница области устойчивого горения электродугового разряда в кольцевом канале муфеля термохимической подготовки топлива при динамическом воздействии на плазменный жгут потоком аэросмеси; зависимость расхода воздуха от мощности плазменного генератора имеет вид: $V_d = 638,4 + 34,5 \cdot N_n - 0,34 \cdot N_n^2$;

- найдены условия эффективного зажигания топливовоздушного потока вынесенной плазменной дугой во внутренней области плазменного модуля, при которых обеспечивается рациональная термохимическая подготовка топлива к его факельному сжиганию в топочном пространстве; коэффициент избытка воздуха для эффективной подготовки топлива близок к 0,3;

- экспериментально исследована зона возвратных течений на выходе пылевихревой горелки при взаимодействии прямоточной струи розжигового канала с закрученной струей основного потока аэросмеси.

Основные положения, выносимые на защиту:

- экспериментально определенная граница области устойчивого горения вынесенной плазменной дуги в кольцевом канале муфеля термохимической подготовки топлива при динамическом воздействии на неё потоком аэросмеси, подаваемым в область зажигания топлива;

- результаты экспериментальных исследований зажигания топливовоздушного потока электродуговым устройством с вынесенной плазменной дугой;

- результаты исследования поведения зоны возвратных течений на выходе вихревой пылеугольной горелки при взаимодействии прямоточной струи, истекающей из розжигового канала, с закрученной струей основного потока аэросмеси, подаваемой на горение, позволяющие прогнозировать эффективность сгорания топлива в факеле в топочной камере.

Достоверность полученных результатов определяется использованием надежных методов диагностики, обеспечивающих возможность получения результатов измерений с погрешностью не более $\pm 10\%$; статистической обработкой результатов экспериментальных измерений, которая осуществлялась в относительных единицах для повышения достоверности полученных данных. Теоретические исследования проводились на основе математических моделей с использованием аналитических и численных методов расчета с допущениями, не вступающими в противоречие с общепринятыми. Приведенные в работе результаты находятся в согласии с данными, полученными для других устройств воспламенения и стабилизации горения пылевидных топлив.

Практическая ценность работы:

– результаты экспериментальных и теоретических теплофизических исследований при плазменном зажигании и стабилизации горения потока аэросмеси, полученные в работе, использованы при разработке системы плазменного розжига для котла КВТК 100/150 районной котельной г. Прокопьевска Кемеровской области;

– в результате экспериментального исследования поведения зоны возвратных течений на выходе вихревой пылеугольной горелки определено рациональное соотношение расходов воздуха через центральный и коаксиальный каналы при зажигании и стабилизации горения твердотопливной аэросмеси вынесенной плазменной дугой, обеспечивающее интенсивное взаимодействие потоков аэросмеси и полноту сгорания частиц топлива в топочном пространстве;

– результаты диссертационной работы используются в учебном процессе Томского государственного архитектурно-строительного университета для студентов специальности 291300 “Механизация и автоматизация строительства”.

Вклад автора в проведенные исследования состоит в формулировании цели исследований и постановке соответствующих задач, в разработке конструкции экспериментальной лабораторной установки для исследования процессов зажигания пылевидного твердого топлива и модели горелки, непосредственном участии в проведении экспериментов и обработке их результатов, формулировке выводов по работе.

На различных этапах работы при постановке задач и обсуждении полученных экспериментальных результатов принимали участие заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор Волокитин Г.Г., к.ф.-м.н., доцент Шиляев А.М.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации доложены на Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов «Решетневские чтения» (г. Красноярск

1998); III международной конференции «Физика плазмы и плазменные технологии» (г. Минск, Беларусь, 2000); II международном научно-техническом семинаре «Нетрадиционные технологии в строительстве» (г. Томск, 2001); II и III семинарах вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике (г. Томск, 2001, г. Барнаул, 2003); научно-технической конференции «Архитектура и строительство» (г. Томск, 2002); а также на ряде научно-технических совещаний и семинаров.

Публикации. Основные научные результаты работы изложены в 8 публикациях.

Структура и объём работы. Диссертационная работа изложена на 135 страницах машинного текста и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы из 90 наименований, содержит 38 рисунков и 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, отмечена научная новизна полученных результатов и их практическая ценность.

Первая глава посвящена рассмотрению вопросов развития технологий для сжигания низкосортного твердого топлива, анализу применения систем безмазутного плазменного воспламенения пылевидных топлив и используемых плазменных устройств.

Анализ позволил сделать следующие выводы:

1. Перевод пылеугольных топок на сжигание углей с применением технологии безмазутного плазменного розжига позволяет исключить дополнительное высококалорийное топливо не только на фазе растопки котла, но и на подсветку факела.

2. В результате внедрения системы безмазутного розжига возможна разработка более надежных, экономичных и экологически выгодных топок, которые превосходят топки, эксплуатирующиеся в настоящее время.

3. Учитывая разнообразие конструкций плазмотронов для зажигания и поддержания стабильного горения пылевидного низкосортного топлива, возможна разработка системы плазменного розжига для энергетических производств малой мощности.

4. Наиболее полно исследован розжиг топливной смеси с помощью плазмотронов линейной схемы, которые воспламеняют топливо плазменной струей. Часть работ посвящена исследованию устройств, в которых реализована схема помещения электрической дуги непосредственно в поток топливной смеси. Однако вопросы, связанные с зажиганием твердых топлив

вынесенной плазменной дугой, изучены мало и требуют дополнительного экспериментального и теоретического изучения.

Общий анализ использования плазменных систем для безмазутного розжига показал их эффективность, экономическое и экологическое преимущество.

Исходя из сделанных выводов, определен круг задач, решение которых и составляет содержание настоящей диссертационной работы.

Во второй главе приведены результаты экспериментального исследования зажигания и стабилизации горения низкосортного пылевидного твердого топлива электродуговым устройством с вынесенной плазменной дугой.

Для проведения экспериментального исследования плазменного розжига пылевидного топлива и апробации работоспособности электродугового оборудования разработан экспериментальный стенд (рис.1), состоящий из следующих основных частей: генератора низкотемпературной плазмы; системы электропитания плазмотрона; системы дозированной подачи пылевидного топлива; системы подачи воздушного потока, транспортирующего топливо; пылевихревой горелки; топочной камеры; пульта управления.

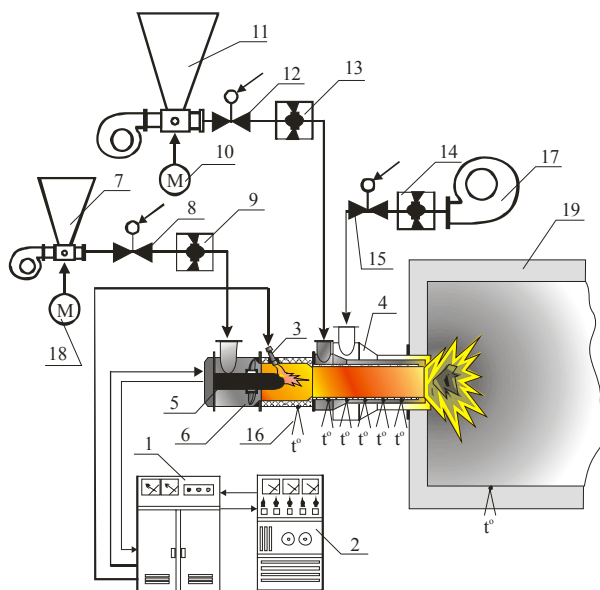


Рис.1. Экспериментальный стенд для плазменного розжига топливных смесей:

1 – источник питания; 2 – пульт управления; 3 – катодный узел; 4 – пылевихревая горелка; 5 – анодный узел; 6 – плазменный модуль; 7, 11 – питатели пылевидного топлива; 8, 12, 15 – шиберные заслонки; 9, 13, 14 – электромеханические ротационные расходомеры; 10, 18 – управляемые двигатели постоянного тока в системе подачи топлива; 16 – термопары; 17 – вентилятор; 19 – топочная камера

В качестве источника низкотемпературной плазмы использован плазменный генератор 6, состоящий из анодного графитового узла 5 и катодного узла 3, формирующего поток плазмы. Плазмотрон размещен во внутренней области плазменного модуля, стенки которого обмурованы бадделеитокорундовым материалом, снаружи модуль изолирован каолиновой ватой, что обеспечивает практически адиабатические условия в его внутренней области. Перед плазменным модулем для увеличения времени нахождения частиц топлива в высокотемпературной зоне вынесенной плазменной дуги установлен узел закрутки потока аэросмеси.

Расходные параметры изготовленных питателей пылевидного топлива позволили оценить максимальную тепловую мощность экспериментального стенда, достигающую 0,5 МВт для различных видов твердого топлива, что позволяет моделировать работу реальных тепловых агрегатов промышленных объектов.

В ходе исследования процесса плазменного розжига древесной шлифовочной пыли завода ДСП г. Томска измерялось тепловое состояние внутренней поверхности прямоточного канала горелки 4 и шамотной кладки камеры сгорания 19 для определения времени разогрева кладки до достижения условий стабильного самовоспламенения топливной аэросмеси в топочной камере.

Полученные термограммы представлены на рис. 2.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать заключение, что незначительное время работы плазменного генератора (~1 минута) обеспечивает в топочном пространстве температуру стабильного самовоспламенения пылевидного твердого топлива уже через 5 – 7 минут после отключения дуги. Вынесенная плазменная дуга, горящая между электродами во внутренней области плазменного модуля и подвергаемая динамическому воздействию потоком аэросмеси, является неустойчивой по сравнению с плазменной дугой с газовихревой стабилизацией в канале плазмотрона линейной схемы, применяемого для розжига пылевидного топлива на котлах ТЭЦ и

ГРЭС. В связи с этим проведена серия экспериментов для нахождения области устойчивого горения вынесенного дугового разряда. Граница области устойчивого горения электродугового разряда определялась экспериментально по условиям погасания дуги при постепенном увеличении расхода воздуха, обдувающего плазменный жгут.

В процессе экспериментов варьировались мощность электродугового устройства и расход воздуха через плазменный модуль диаметром 200 мм. Используя результаты работ, выполненных по исследованию воспламенения пылевидных топлив плазмотронами линейной схемы, для зафиксированных в экспериментах значений мощности плазменной дуги рассчитан расход воздуха, необходимый для надежного зажигания различных видов топлива (уголь, древесина, торф).

Результаты экспериментов и проведенных расчетов представлены на рис. 3. Для экспериментальной установки область устойчивого горения плазменной дуги описывается зависимостью расхода воздуха от мощности электродугового устройства $V_d = 638,4 + 34,5 \cdot N_n - 0,34 \cdot N_n^2$. Анализ полученной зависимости позволяет сделать заключение: значение мощности электродугового устройства, необходимой для стабильного розжига пылевоздушной смеси, состоящей из угля, древесины или торфа, находится в зоне устойчивого горения вынесенной плазменной дуги.

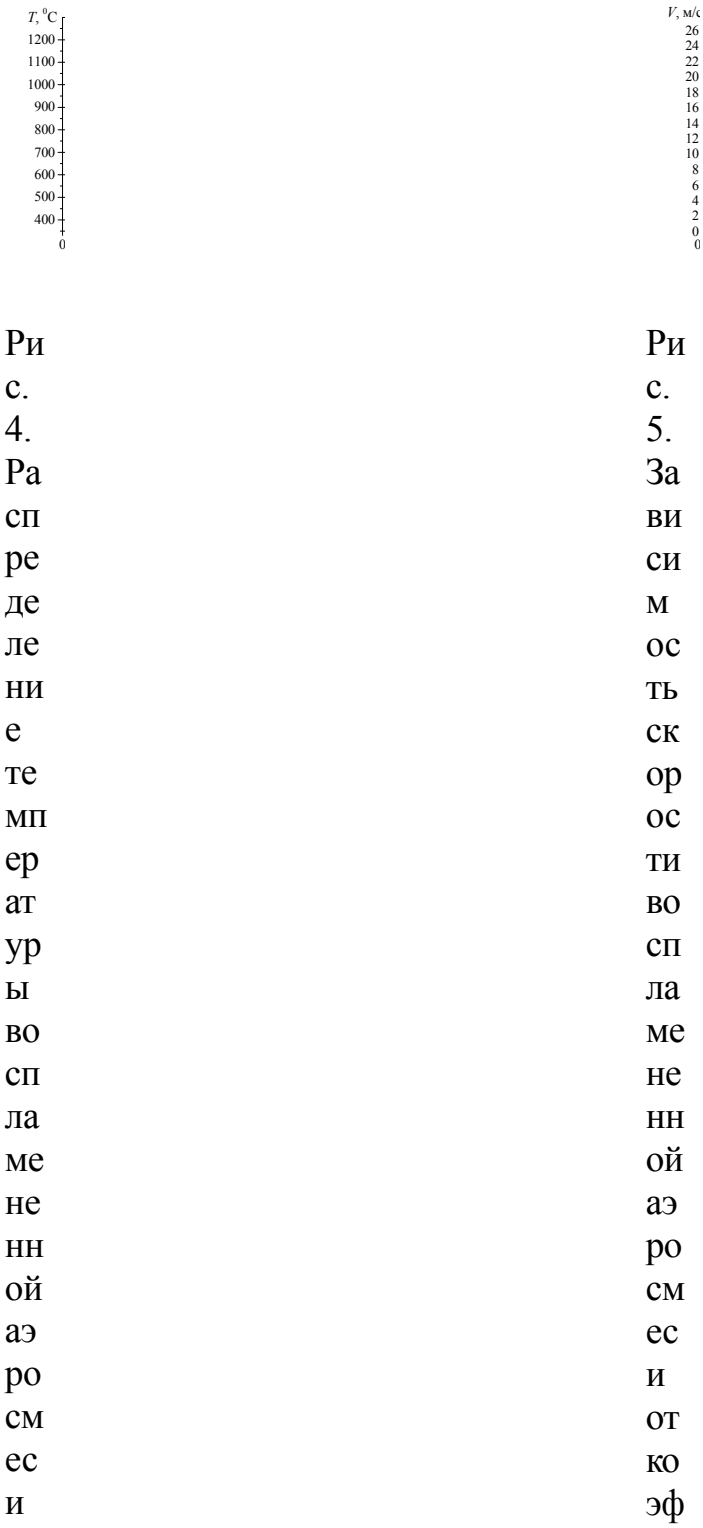
Исследование условий эффективного зажигания и стабилизации горения при взаимодействии топливовоздушного потока с электродуговой плазмой проводилось на измельченном каменном угле Кузнецкого бассейна марки Т с распределением частиц по размерам по логарифмически нормальному закону с параметрами: $\delta_{50} = 40$ мкм, $\sigma = 2,5$.

В процессе экспериментального исследования произведены измерения температуры и скорости воспламеняемой аэросмеси по оси факела на различных расстояниях от среза сопла плазменного модуля при изменении соотношения

соотношения расходов топлива и воздуха, подаваемых в область электрической дуги. Соотношение расходов изменялось от 2,1 до 4,2 кг/кг.

При подаче аэросмеси в плазменный модуль наблюдалось повышение устойчивости горения плазменной дуги, что также отмечалось в работах по воспламенению потока аэросмеси многоэлектродным высоковольтным плазмотроном, выполненных В.С. Энгельштом, А.Н. Сайченко и др.

Распределения температуры по оси факела и осевой скорости воспламененной аэросмеси в зависимости от коэффициента избытка воздуха представлены на рис. 4 и 5 соответственно.



ВД	ф
ОЛ	иц
Ь	ие
ОС	нт
И	а
фа	из
ке	б
ла	ы
В	тк
за	а
ви	во
си	зд
мо	ух
ст	а
И	на
от	ра
ко	зл
эф	ич
фи	н
ци	ы
ен	х
та	ра
из	сс
бы	то
тк	ян
а	ия
во	х
зд	от
ух	ср
а	ез
	а
	со
	пл
	а

Проведенное исследование и полученные зависимости позволяют сделать следующее заключение: стабильное горение факела и, как следствие, эффективный розжиг, наблюдается при коэффициенте избытка воздуха, близком к 0,3, при котором происходит эффективная подготовка топлива для воспламенения основного пылевоздушного потока.

Использование низкосортного твердого топлива в виде древесных отходов деревообрабатывающих предприятий, торфа, шламов тепловых станций с невысоким содержанием горючих компонентов может быть реализовано на основе плазменного розжига различных топливных смесей, представляющих их комбинацию. В связи с этим, на экспериментальной

установке проведены исследования сжигания топливной смеси, состоящей из пылевидных каменных углей и древесных отходов деревообрабатывающей промышленности.

Характерные экспериментальные данные, полученные при воспламенении исследуемой топливной смеси, представлены на рис. 6 в виде распределения температуры воспламененного пылевоздушного потока по оси факела, истекающего из сопла плазменного розжигового модуля, при различных значениях коэффициента избытка воздуха.

В процессе экспериментального исследования установлено, что при большем содержании древесины в топливной смеси максимальная температура

тура газа в факеле наблюдается вблизи среза сопла плазменного модуля. Это объясняется сгоранием большей части древесины в области взаимодействия частиц с плазменной дугой.

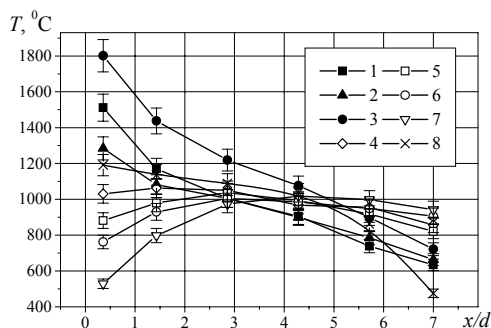


Рис. 6. Распределение температуры воспламененной аэросмеси на оси факела при сжигании топливной смеси (25% угля, 75% — древесины): 1, 5 — $\alpha = 1,46$; 2 — 1,13; 3, 4 — 0,93; 6 — 1,767; 7 — 1,03; 1, 2, 3 — плазменный розжиг ($N = 30,4$ кВт), 4, 5, 6, 7, 8 — горение топлива; 8 — горение 100% древесины; x — расстояние до среза сопла плазменного модуля, d — диаметр сопла

Замечено, что при малом содержании угольных частиц (до 25%) в смеси факел удлиняется, что связано с более долгим горением летучих составляющих древесины в газовой фазе, которое обеспечивает благоприятные условия для горения коксового остатка угля.

Анализ выполненных исследований говорит о возможности эффективного плазменного сжигания топливных смесей, состоящих из комбинации различных видов низкосортного топлива, что повышает коэффициент использования топливно-энергетических ресурсов регионов, в которых отсутствуют запасы высокорекреационного топлива.

В третьей главе представлено численное моделирование теплообмена многослойной стенки плазменного муфеля, применяемого для пассивного метода стабилизации процесса горения пылевидных твердых топлив, который осуществляется за счет аккумуляции тепла стенками, нагреваемыми до температуры, необходимой для самовоспламенения топливовоздушной смеси.

Расчетная схема, используемая для моделирования теплового состояния стенки муфеля-стабилизатора, показана на рис. 7.

Математическая модель строилась на основе уравнения теплопроводности, которое в осесимметричной цилиндрической системе координат записывается в виде

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right). \quad (1)$$

Здесь r — радиальная координата, м; x — осевая координата, м; τ — время, с; c_p — теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ — плотность материала, кг/м³; λ — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К).

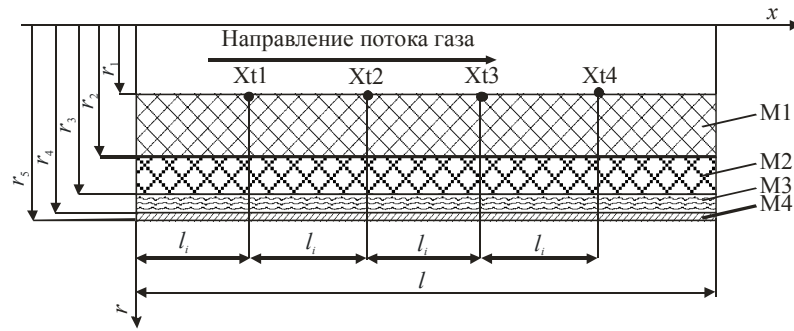


Рис. 7. Расчетная схема многослойного плазменного муфеля-стабилизатора:

Xт1, Xт2, Xт3, Xт4 – места установки термопар, М1 – бакор-33,

М2 – асбест, М3 – каолиновая вата, М4 – сталь 3

Начальное условие $\tau = 0$ и $T = T_0$. (2)

Граничные условия:

$$-\lambda_1 \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r=r_1} = \alpha_1 (T|_{r=r_1} - T_n); \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0; \quad (4)$$

$$-\lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{M_i} = -\lambda_{i+1} \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{M_{i+1}}, \quad T|_{M_i} = T|_{M_{i+1}}, \quad i = 1, 2, 3; \quad (5)$$

где M_i – граница слоя стенки муфеля-стабилизатора;

$$-\lambda_4 \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r=r_5} = \alpha_2 (T|_{r=r_5} - T_{oc}). \quad (6)$$

При расчете коэффициентов теплоотдачи α_1 и α_2 использовались зависимости:

на внутренней поверхности

$$Nu_1 = 0,018 \cdot Re^{0,8} \varepsilon_i;$$

на внешней поверхности

$$Nu_2 = 0,47 \cdot (Gr \cdot Pr_{oc})^{0,25}.$$

Здесь $Nu_i = \frac{\alpha_i \cdot x}{\lambda_i}$ – число Нуссельта; $Re = \frac{w \cdot 2r_1}{\nu}$ – число Рейнольдса; $Pr_{oc} = \frac{\nu}{a}$ –

число Прандтля; $Gr = \frac{g \beta \Delta t (2r_5)^3}{\nu^2}$ – критерий Грасгофа;

$\beta = \frac{1}{t + 273}$ – коэффициент температурного расширения воздуха, $1/^{\circ}\text{C}$; ε_l – коэффициент, учитывающий влияние начального теплового участка, λ_g – коэффициент теплопроводности газа, $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$; w – скорость пылеплазменного потока, м/с ; x – осевая координата, м ; ν – коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$; a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$. Индексы имеют следующий смысл: п – теплофизические свойства газа берутся при средней температуре потока; ос – теплофизические свойства берутся при температуре окружающей среды.

Для численного решения уравнения (1) с начальными и граничными условиями (2) – (6) применен метод расщепления, полученные уравнения решались по неявной разностной схеме методом прогонки.

Результаты проведенного численного расчета сопоставлены с экспериментальными данными (рис. 8). Для измерения температуры использовались хромель-алюмелевые термопары, установленные в бадделеитокорундовом материале внутренней стенки обмуровки на глубину 0,002 м от внутренней поверхности прямооточного канала горелки.

Сравнение численного расчета с экспериментом показало удовлетворительное согласие. Математическая модель, описывающая теплообмен многослойной стенки муфеля-стабилизатора, использована для выбора материала и режима разогрева внутренней стенки центрального розжигового канала пылевихревой горелки районной котельной г. Прокопьевска, оборудованной системой плазменного розжига.

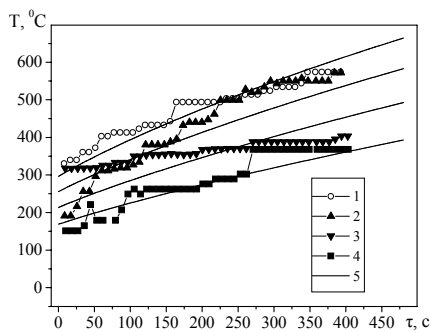


Рис. 8. Сравнение численного расчета с экспериментальными данными:

1 – показания термопары № 1; 2 – № 2; 3 – № 3; 4 – № 4; 5 – численный расчет

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования поведения зоны возвратных течений на выходе пылевихревой горелки в процессе взаимодействия прямооточной струи, истекающей из розжигового канала, с внешним закрученным потоком.

Для эффективного использования энергии плазменного устройства при розжиге пылевидного твердого топлива необходимо разделение аэро

аэросмеси на две части: вспомогательный поток для проведения термохимической подготовки одной части топлива и основной поток аэросмеси топлива, воспламенение которого происходит при смешивании с первым в топочной камере. Эффективность взаимодействия потоков и соответственно полнота сжигания топлива в топочном пространстве обеспечивается прецессирующим ядром на выходе пылевихревой горелки, создающимся за счет интенсивной закрутки основного потока.

Исходя из стехиометрии реакций окисления различных видов топлива и базируясь на результатах исследования воспламенения топливных аэросмесей в плазменном модуле с вынесенной электрической дугой (гл. 2), расчетным путем определено рациональное соотношение расходов воздуха при общем коэффициенте избытка воздуха в топке, равном 1,2.

Для анализа поведения зоны возвратных течений на выходе горелки при взаимодействии прямоточной струи розжигового канала и закрученной струи основного потока аэросмеси, подаваемой на горение, проведены исследования на экспериментальной модели пылевихревой горелки (рис. 9).

Изготовленная модель пылевихревой горелки представляет собой прототип устройства, установленного на котле КВТК 100/150 районной котельной г. Прокопьевска Кемеровской области.

Для измерения поля скоростей и поля температуры потока воздуха за срезом вихревой горелки изготовлено координатное устройство, позволяющее перемещать измерительные датчики по осевой и радиальной координате и позиционировать их с точностью 1 мм. Для измерения осевой и окружной составляющих скорости газа предусмотрено поворотное устройство.

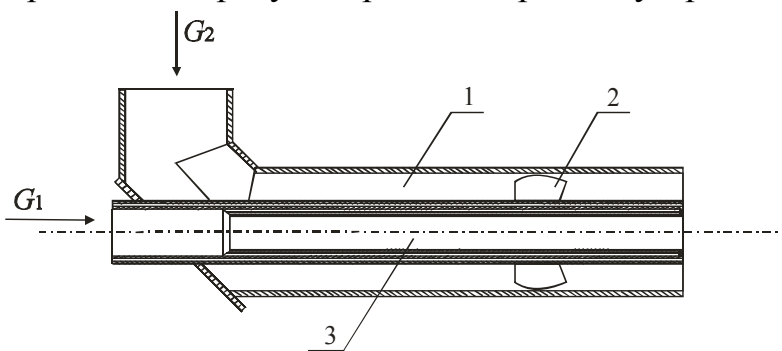


Рис. 9. Экспериментальная модель пылевихревой горелки:

1 – внешний кольцевой канал; 2 – лопаточный завихритель; 3 – розжиговый канал; G_1 – расход воздуха первой ступени; G_2 – расход воздуха второй ступени

В ходе экспериментов варьировалось соотношение расходов воздуха, поступающего через центральный розжиговый и внешний кольцевой каналы экспериментальной модели. Соотношение изменялось от 0,18 до 0,5.

Распределения осевой и радиальной составляющей скорости для различных соотношений расходов воздуха представлены на рис. 10 – 13.

Поле скоростей
закрученного
потока воздуха



Поле скоростей
потока воздуха
центрального
канала



Зона возвратных
течений



Анализ полученных данных показывает, что при уменьшении соотношения расходов воздуха G_1/G_2 происходит прижимание прямоточной струи розжигового канала к соплу горелки. С увеличением G_1/G_2 область возвратных течений смещается от устья горелки, что может привести к отрыву горящего факела.

Для определения интенсивности смешивания газа в закрученном факеле вихревой горелки измерялась температура потока воздуха при взаимодействии холодного газа закрученного потока с нагретой прямоточной струей, пропускаемой через центральный канал. Общий вид распределений температуры на выходе экспериментальной горелки представлен на рис. 14. Представленное на рис. 15 распределение температуры вдоль оси потока показывает максимальные значения температуры на срезе горелки, а затем наблюдается спад. Наши результаты качественно согласуются с данными работы [1], которые получены для более простого случая – отсутствия воздействия прямоточной струи.

Экспериментальные данные позволяют сделать заключение, что при соотношении $G_1/G_2 \leq 0,3$ область возвратных течений находится непосредственно на выходе пылевихревой горелки. В этих условиях стабилизируется горение пылевоздушного факела и обеспечивается полнота сгорания топлива в топочном пространстве.

T / T_{max}	T/T_{max}
1,0	1,0
0,9	0,9
0,8	0,8
0,7	0,7
0,6	0,6
0,5	0,5
0,4	0,4
	0,3
	0,2
	0,1
Ри	Р
с.1	ис
4.	.1
По	5.
ле	Р
те	ас
мп	п
ер	ре
ат	де
ур	ле
ы	н
газ	ие
а в	те
за	м
кр	пе
уч	ра
ен	ту
но	р
м	ы
фа	га
ке	за
ле	п
ви	о
хр	ос
ев	и
ой	за
го	к
ре	р
лк	у
и	че
пр	н
и	н

G_1	ог
$/G$	о
2	ф
$=$	ак
$0,4$	ел
	а

В пятой главе рассмотрены экологические аспекты плазменно-энергетических технологий сжигания твердого топлива и проведено экономическое обоснование внедрения системы безмазутного воспламенения на примере сравнительного расчета затрат на розжиг и стабилизацию горения пылевоздушного факела на районной котельной г. Прокопьевска Кемеровской области и в топочном пространстве сушильной установки завода древесностружечных плит г. Томска.

Экологическая эффективность при использовании плазменной технологии достигается за счет снижения вредных выбросов из-за специфики режима работы системы плазменного воспламенения (высокая концентрация энергии в небольшом объеме, высокие температуры) и ступенчатом сжигании пылевидного твердого топлива.

Проведенный экономический анализ позволяет утверждать, что экономия средств при использовании системы плазменного воспламенения составляет значительную сумму для промышленного предприятия малой энергетики. Внедрение плазменной технологии не требует больших экономических вложений и окупается менее чем за 1 год.

Основные результаты работы.

1. Создана экспериментальная установка, позволяющая производить исследование процессов при плазменном розжиге низкосортных пылевидных твердых топлив электродуговым устройством с вынесенной плазменной дугой,

1. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. – М.: Мир, 1987.-588 с.

горящей непосредственно в топливном потоке. При максимальной тепловой мощности экспериментальной установки 0,5 МВт возможно моделирование работы реальных тепловых агрегатов промышленных объектов.

2. Экспериментально установлена граница области устойчивого горения вынесенной плазменной дуги в кольцевом канале плазменного модуля при динамическом воздействии на неё потоком аэросмеси. Для экспериментальной установки область устойчивого горения плазменной дуги ограничена величиной расхода воздуха в зависимости от мощности плазменного генератора:

$$V_d = 638,4 + 34,5 \cdot N_n - 0,34 \cdot N_n^2.$$

3. Исследовано зажигание пылевидного твердого топлива вынесенной плазменной дугой и определен локальный коэффициент избытка воздуха, близкий к 0,3, обеспечивающий эффективный розжиг аэросмеси во внутренней области плазменного модуля.

4. Проведено экспериментальное исследование плазменного сжигания топливной смеси, состоящей из пылевидных каменных углей и древесных отходов деревообрабатывающей промышленности. Установлено необходимое соотношение компонентов топлива, позволяющее достичь рационального сжигания смеси.

5. Проведено численное моделирование теплообмена многослойной стенки массивного полого цилиндра, размещенного в центральном канале пылевихревой горелки и использующегося в качестве пассивного проточного муфеля-стабилизатора для поддержания нормальных условий горения топливовоздушной смеси. Численная реализация модели показала удовлетворительное согласие с экспериментальными данными. Разработанный программный продукт позволил расчетным путем подобрать режимно-геометрические параметры и свойства материала муфеля-стабилизатора для эффективной и надежной его эксплуатации.

6. Проведено экспериментальное моделирование поведения факела вихревой пылеугольной горелки с плазменной термохимической подготовкой части топливной смеси в условиях взаимодействия прямоточной струи, истекающей из центрального канала горелки, оборудованной системой плазменного розжига, с закрученным потоком аэросмеси, подаваемым через внешний коаксиальный канал. Установлено, что при соотношении $G_1/G_2 \leq 0,3$ область возвратных течений находится непосредственно на выходе пылевихревой горелки. В этих условиях стабилизируется горение пылевоздушного факела и обеспечивается полнота сгорания топлива в топочном пространстве.

7. Показана экономическая эффективность применения систем плазменного безмазутного воспламенения пылевидного твердого топлива на основе сравнительного расчета затрат на розжиг и стабилизацию горения пылевоздушного факела на примерах районной котельной г. Прокопьевска

Кемеровской области и сушильной установки завода древесностружечных плит г. Томска.

8. Результаты экспериментальных теплофизических и аэродинамических исследований при плазменном зажигании и стабилизации горения твердотопливных аэросмесей, полученные в работе, использованы при разработке и установке системы плазменного розжига на котле КВТК 100/150 районной котельной г. Прокопьевска Кемеровской области.

Основные результаты диссертационной работы отражены в следующих публикациях:

1. Шиляев А.М., Дробчик В.В. Сушильный твердотопливный теплогенератор с плазменным розжигом // Решетневские чтения: Материалы Всерос. научно – техн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов, вып. 2. Красноярск: САА, 1998. – С. 64

2. Шиляев А.М., Волокитин Г.Г., Дробчик В.В. Тепловой генератор с системой плазменного розжига дисперсного твердого топлива // Тезисы докладов научно-тех. конф. «Архитектура и строительство. Наука, образование, технологии, рынок». - Томск: Изд-во ТГАСУ, 1999. – С. 75 – 76.

3. Shilyaev A.M., Volokitin G.G., Drobchik V.V. Lighting-up of pulverized-dust fuel with plasma arc in furnaces of driers // «Plasma physics and plasma technologies». – Minsk: IMAF NASB, 2000. - P. 601 – 603.

4. Волокитин Г.Г., Шиляев А.М., Дробчик В.В. Моделирование теплового состояния стенок плазменного муфеля // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Энергосберегающие и природоохранные технологии на Байкале». – Улан-Удэ: 2001 г. – С. 172 – 174.

5. Волокитин Г.Г., Шиляев А.М., Анышаков А.С., Дробчик В.В. Плазменный модуль для безмазутного розжига и «подсветки» котлов малой энергетики // Тезисы докладов. Всероссийское совещание «Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России». – Томск: Изд-во «ГУ Томский ЦНТИ», 2001 г. – С. 40 – 41.

6. Шиляев А.М., Волокитин Г.Г., Дробчик В.В. Системы плазменного розжига низкосортных топлив для теплоагрегатов малой энергетики // Известия ТПУ, Том 305. - вып. 2. 2002 г. Тематический выпуск. – С. 220 – 224.

7. Волокитин Г.Г., Шиляев А.М., Дробчик В.В., Ромашенко В.В. Измерение температуры факела при разных режимах плазменного розжига // Архитектура и строительство. Наука, образование, технологии, рынок: тезисы докладов научно-технической конференции. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2002. – С. 89.

8. Шиляев А.М., Дробчик В.В., Клименов В.А., Волокитин Г.Г., Мандрик А.А. Исследование процесса розжига низкосортных топлив в плазменном модуле открытой электрической дугой // Ползуновский вестник, №1, 2004. – С. 172 – 173.