АННОТАЦИЯ

к диссертационной работе на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе «8D07106 – Теплоэнергетика»

ОРЫНБАСАР МАҒЖАН НҰРЛАНҰЛЫ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАЗМЕННО-УГОЛЬНЫХ ГОРЕЛОК: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Общая характеристика работы

Диссертация посвящена исследованию и оптимизации плазменно-угольной горелки для воспламенения и стабилизации горения низкосортного угля. Для проведения численных исследований использовались компьютерные программы термодинамических и кинетических расчетов: TERRA и PlasmaKinTerm соответственно. На плазменно-угольной горелке были проведены экспериментальные исследования и полученные результаты были сопоставлены с результатами численных исследований.

Актуальность темы

В настоящее время на тепловых электростанциях Казахстана и стран СНГ в основном используется низкокачественный уголь с высоким содержанием золы, добываемый преимущественно открытым способом. Такие угли характеризуются высокой зольностью и низким выходом летучих веществ. Прямое сжигание этих низкосортных топлив в традиционных топочных системах сопровождается рядом серьёзных проблем, включая затруднённое воспламенение, неполное выгорание, а также повышенные выбросы вредных веществ в атмосферу – золы, оксидов азота (NO_x) и серы (SO_x).

Существуют различные традиционные методы улучшения воспламенения и стабилизации горения низкосортных углей в теплоэнергетике. Одной из широко применяемых технологий на многих тепловых электростанциях мира является розжиг котлов и стабилизация горения пылеугольного факела с использованием мазута. Однако с экологической, энергетической и экономической точек зрения эта технология малоэффективна. Она требует значительного потребления дефицитного мазута (около 25 миллионов тонн ежегодно по странам СНГ) и сопровождается выбросами экологически опасных газов. При сжигании мазута образуются вредные газы – оксиды азота и серы, использование которых ограничивается международным сообществом. Применяемые в настоящее время технологии розжига котлов и стабилизации горения пылеугольного факела ухудшают энергетическую и экологическую безопасность стран.

Уголь остаётся привлекательным выбором для производителей энергии благодаря своей относительной дешевизне и широкому распространению. Помимо своей ключевой роли в энергетике, уголь имеет большое значение для

различных отраслей промышленности. Он используется в металлургии, производстве фосфорных удобрений и цемента. Кроме того, побочные продукты, получаемые из угля, применяются для создания современных материалов – активированного угля для фильтрационных систем, углеродного волокна для аэрокосмической и автомобильной промышленности, металлического кремния, используемого в смазках, а также редкоземельных элементов, извлекаемых химическим путём. Эти примеры подчёркивают сохраняющуюся актуальность угля как важнейшего компонента мировой энергетики, который не может быть полностью исключён из использования. Решение современных глобальных задач требует комплексного подхода, сочетающего разнообразные источники энергии и технологические инновации. Несмотря на активный переход к альтернативным источникам, уголь продолжает играть важную роль в мировой энергетической системе (не только благодаря своей доступности, но и благодаря стратегическому значению для ключевых промышленных отраслей). Более того, уголь способствует развитию и устойчивому функционированию инфраструктуры, необходимой для внедрения и надёжной работы возобновляемых источников энергии. В связи с этим необходимо направить усилия научных исследований на поиск новых технологических решений для более эффективного использования угля.

Одной из перспективных технологий в области тепловой энергетики является плазменное воспламенения и стабилизация горения пылеугольного топлива с использованием плазменно-угольную горелку (ПУГ). Эта технология позволяет отказаться от использования дополнительных высокореакционных видов топлива (таких как природный газ или мазут) при запуске котлов и поддержании стабильного воспламенения и горения угольной пыли. Основой технологии является концепция электротермохимической подготовки топлива к сгоранию (ЭТХПТ), которая предполагает использование электрической дуговой плазмы для нагрева воздушно-угольной смеси до температур, при которых происходит выделение летучих веществ и частичная газификация оставшегося кокса. В результате воздействия ПУГ исходный твёрдый уголь преобразуется в высокореакционное двухкомпонентное топливо (ВРДТ), состоящее из горючих газов и твёрдого углеродистого остатка. На выходе из устройства ВРДТ быстро воспламеняется благодаря эффективному перемешиванию с воздухом в топочной камере.

В мире опубликован значительный объём научных исследований, посвящённых плазменному воспламенению и стабилизации горения пылеугольного топлива. Наиболее широкое внедрение данной технологии наблюдается в Китае, где примерно 45% угольных котлов оснащены ПУГ. Экспериментальные исследования процессов воспламенения и горения низкокачественного угля с содержанием золы до 45% показали, что даже столь высокозольное топливо может эффективно воспламеняться и устойчиво гореть при использовании технологии ПУГ.

Связь темы диссертации с планом научных работ

Диссертационная работа выполнена в соответствии с утвержденным планом исследования МНВО РК, а также в рамках грантового финансирования научных исследований по темам: «Получение энергетического газа и нейтрального неорганического материала плазменной газификацией углеродсодержащих отходов, включая полиэтилентерефталат» (AP19674754, 2023-2025 гг.); «Разработка и апробация технологий новых функциональных материалов с использованием плазмохимических, механохимических и самораспространяющихся высокотемпературных синтез процессов» (BR18574084, 2023-2025 гг.); «Эколого-энергетическая эффективность плазменной технологии: численное моделирование и эксперимент» (AP22687016, 2024-2026 гг.).

Целью диссертационной работы является оценка экологической и энергетической эффективности использования плазменно-угольной горелки на пылеугольных тепловых электростанциях.

Для достижения поставленных целей необходимо было решить следующие **задачи:**

1 Провести термодинамическое и кинетическое моделирование продуктов, образующихся при электротермохимической подготовке низкосортного высокозольного топлива к сжиганию, с использованием программных комплексов TERRA и PlasmaKinTherm с целью получения высокореакционного двухкомпонентного топлива на выходе из плазменно-угольной горелки;

2 Провести экспериментальные исследования процессов плазменного воспламенения и стабилизации горения (ПВСГ) в объеме горелки;

3 Определить оптимальные параметры, обеспечивающие эффективное протекание процессов плазменного воспламенения и частичной газификации пылеугольного топлива в объеме плазменно-угольной горелки.

Объектом исследования являются плазменно-угольные горелки.

Предметом исследования является процесс электротермохимической подготовки к сгоранию Экибастузского угля в плазменно-угольной горелке.

Методы исследования

Численные анализы проводились с использованием программных пакетов TERRA и PlasmaKinTerm, которые предназначены для термодинамических и кинетических расчетов соответственно. Для анализа результатов были проведены экспериментальные исследования с использованием ПУГ и проведено сравнение с численными результатами.

Научная новизна работы отражена в следующих оригинальных результатах:

1 Впервые выполнено численное моделирование, подтвердившее возможность получения ВРДТ из высокозольного низкокачественного энергетического угля с использованием плазменно-угольной горелки;

2 Впервые получены экспериментальные данные, подтверждающие образование синтез-газа (CO + H_2) с общей концентрацией 37,1% при

плазменном воспламенении и частичной газификации высокозольного Экибастузского угля в камере плазменно-угольной горелки;

3 Проведена оптимизация процессов плазменного воспламенения и частичной газификации высокозольного Экибастузского угля в объёме горелки, определены оптимальные параметры протекания этих процессов.

Положения, выносимые на защиту

1 Электротермохимическая подготовка пылевидного низкокачественного Экибастузского угля к сжиганию обеспечивает получение высокореакционного двухкомпонентного топлива (состоящего из горючих газов и коксового остатка) с повышенными концентрациями CO (26,5%) и H_2 (15,2%), что обеспечивает быстрое воспламенение на выходе из плазменно-угольной горелки;

2 Полученное на выходе из экспериментальной установки высокореакционного двухкомпонентного топлива с удельной теплотой сгорания 12 550 кДж/кг обеспечивает стабильное и интенсивное воспламенение при смешении с вторичным воздухом;

3 Оптимальными параметрами работы плазменно-угольной горелки являются средняя массовая температура 1880 K, давление 0,1 МПа, мощность плазматрона 60 кВт, при его длине 3 м и диаметре 0,15 м.

Теоретическая значимость исследования

Выявленные общие закономерности распределения температур, скоростей и концентраций продуктов в процессе электротермохимической подготовки угля к сгоранию вдоль ПУГ позволяют повысить эффективность и устойчивость работы таких систем. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых методов повышения энергетической эффективности сжигания угля, оптимизации процессов горения и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Практическая значимость исследования

Оптимальные параметры плазменного воспламенения высокозольного Экибастузского угля были экспериментально подтверждены, что обеспечивает повышенную эффективность и надёжность ПУГ в пылеугольных котлах ТЭС. Разработанный подход был внедрён на котле ТПЭ-215 Гусиноозёрской ГРЭС в сотрудничестве с Отраслевым центром плазменных энергетических технологий РАО «ЕЭС России». Это подтверждает применимость, эффективность, и промышленную значимость технологии для улучшения воспламенения и стабилизации горения низкокачественного высокозольного угля в теплоэнергетике.

Личный вклад автора в самостоятельном решении поставленных задач и выполнении численных расчётов процессов ПВСГ. Автор принимал активное участие в стендовых экспериментальных исследованиях плазменно-угольной горелки, направленных на изучение процессов ПВСГ твёрдого топлива. Формулировка исследовательских задач, выбор методов и обсуждение результатов проводились совместно с научными руководителями.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

В диссертации используются широко известные и проверенные математические модели термодинамического и кинетического характера – TERRA и PlasmaKinTherm. Надёжность и достоверность полученных результатов исследования подтверждается устойчивым совпадением данных численного моделирования с экспериментальными исследованиями. Кроме того, научная значимость работы подтверждается её публикацией в рецензируемых международных журналах с ненулевым импакт-фактором, в изданиях, рекомендованных Комитет по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (КОКСНВО МНВО РК), а также в материалах международных научных конференций, проходивших как в странах ближнего, так и дальнего зарубежья.

Апробация диссертационной работы и публикации

Основные результаты по теме диссертационной работы были опубликованы в 14 научных печатных работах, в том числе: 1 статья в журнале, входящий в базу данных Scopus и Web of Science, 7 статей в изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК, 1 публикация в коллективной монографии, рекомендованной Учёным советом Института проблем горения Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, 5 работ в сборниках Международных научных конференций.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и списка использованных источников из 153 наименований, содержит 108 страниц основного компьютерного текста, включая 26 рисунка, 9 таблиц и 3 приложения.