

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Е.Жуковского
«ХАРЬКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ»

Алаа МА Мусалам

На правах рукописи

УДК 533.6.011

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
СЖИГАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ГОРЮЧИХ
В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ
ТЕПЛОЭНЕРГОУСТАНОВОК

05.14.06 – Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата

технических наук

Научный руководитель
д.ф.-м.н., проф. А.В.Бастеев

Харьков – 2004

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Список условных обозначений.....	4
Введение	5
Раздел 1. Обзор литературы, постановка задач исследований и выбор методов исследований.....	13
1.1. Новые технологии получения и сжигания КСГ.....	13
1.2. Использование КСГ и ВУС в энергетике Украины.....	20
1.3. Оценка экономических показателей КСГ различного состава.....	23
1.4. Методы экспериментального исследования особенностей эволюции капель КСГ в высокотемпературной окислительной среде.....	24
1.5. Экспериментальное исследование процесса горения капли ВУС из бурого и газового углей.....	28
1.6. Комплексная экосовместимая технология сжигания водомазутной эмульсии с добавками сбросных вод.....	29
1.7. Характеристики и некоторые особенности поведения капель воды в эмульсиях.....	33
1.8. Приготовление и сжигание КСГ в виде пылеугольно-мазутных смесей.....	34
1.9. Выводы по первому разделу.....	38
Раздел 2. Физическое и математическое моделирование поведения капли КСГ в высокотемпературной окислительной среде.....	42
2.1. Моделирование процесса и численные эксперименты.....	42
2.2. Расчет равновесного состава ПС.....	51

2.3. Схема и метод подачи КСГ в тепловосжигающее устройство.....	60
2.4. Выводы по второму разделу.....	61
Раздел 3. Моделирование предпламенных процессов и горения образ- цов КСГ.....	64
3.1. Лабораторная технология приготовления образцов КСГ.....	64
3.2. Исследование предпламенных процессов термогравиметрическим методом.....	66
3.3. Исследование процесса горения КСГ термометрическим методом...	77
3.4. Выводы по третьему разделу.....	94
Раздел 4. Сжигание КСГ в модельной КС.....	97
4.1. Исследование процессов горения на модельной камере сгорания...	97
4.2. Порядок проведения эксперимента на модельной КС.....	99
4.3. Выводы по четвертому разделу.....	107
Выводы.....	109
Список использованных источников.....	111
Приложение А.....	118
Приложение Б.....	121
Приложение В.....	122

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

КС – камера сгорания;

КСГ – композиционное суспензионное горючее;

ТБ – топливный баланс;

ВУС – водоугольная суспензия;

АЭС – атомная электростанция;

ТЭС – тепловая электростанция;

ВМЭ – водо-мазутная эмульсия;

РЭМ – растровый электронный микроскоп;

ПАВ – поверхностно-активное вещество;

СН – стеарат натрия;

ТГМ – термогравиметрия;

ТМ – термометрия;

ПС – продукты сгорания;

СН – стеарат натрия;

ПТ – печное топливо;

ЦКС – циклонная КС

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Одной из актуальных проблем современной энергетики является разработка высокоэффективных технологий получения и преобразования энергии топлив, которые реализуются в камерах сгорания (КС) теплогенерирующих установок. Объемы топлива, которые сжигаются в системах производства и потребления тепловой энергии в промышленных энергоустановках, настолько велики, что оправданы даже относительно небольшие значения повышения эффективности процесса сжигания.

Идея сжигания композитных суспензионных горючих (КСГ), а именно горючих на основе жидких углеводородных топлив с добавками мелкодисперсного угля впервые появилась в 1879 г. [1], однако изучением особенностей их применения в топках современных энергетических и промышленных установок и в доменных печах начали серьезно заниматься лишь на протяжении нескольких последних десятилетий.

Побудительным мотивом к применению КСГ являются экономические выгоды, получаемые от перевода современных промышленных теплоэнергоустановок и парогенераторов, работающих на жидком углеводородном горючем или природном газе, на сжигание КСГ. Также их использование целесообразно в связи с тем, что технология их приготовления, хранения и сжигания на всех стадиях процесса близка к технологии сжигания жидкого углеводородного горючего и не требует кардинальных изменений топливоподающей аппаратуры.

Проблемы рациональной организации процесса сжигания тесно связаны с проблемами снижения эмиссии токсичных компонентов с продуктами сгорания (ПС). Известны специально разработанные и практически апробированные новые подходы, а также базовые принципы организации рабочего процесса сжигания различных горючих с учетом набора специфических требований, связанных с требованиями по защите окружающей среды. В обзоре публикаций, представленном в диссертации, отражены некоторые достижения в этом на-

правлении.

В качестве топлив для камер сгорания теплогенерирующих установок, как правило, используются сертифицированные углеводородные горючие и/или уголь, однако в последнее время в связи с их дефицитом, рассматриваются возможности сжигания низкокачественных горючих, различных видов отходов и композиций без существенного пересмотра конструкции устройств для сжигания. В частности, большое внимание уделяется технологиям сжигания суспензий и водотопливных эмульсий.

В диссертации разрабатываются научные основы и формулируются рекомендации по практическому использованию в КС КСГ. При этом разрабатывается подход с сохранением базового принципа организации рабочего процесса, а именно, двухстадийности процесса сжигания горючего. Кроме этого, в работе использован и модифицирован ранее сформулированный и обоснованный в ИПМаш НАНУ активационный метод подготовки и сжигания КСГ [2].

Проведенный литературный анализ показал, что при разработке усовершенствованных технологий сжигания КСГ необходимы всесторонние исследования элементарных процессов, как при подготовке топлива, так и непосредственно при его сжигании. Известно, что современные конструкции КС и процедура подготовки топлива, допускают возможность использования в КС суспензий и эмульсий на базе широкого спектра низкосортных углеводородных горючих и дисперсного угля, однако при этом необходим учет научно обоснованных рекомендаций по организации и усовершенствованию рабочего процесса.

Цель и задачи исследования. Таким образом, можно сформулировать основную цель диссертационной работы: разработка научно обоснованных рекомендаций по организации и усовершенствованию технологии сжигания КСГ в КС для использования в теплогенерирующих установках с расширением номенклатуры используемых видов горючего и удешевлением единицы генерируемой тепловой энергии с сохранением показателей КС по токсичности отработавших газов.

Объектами исследования в диссертации являются процессы горения КСГ в

КС и капля КСГ в условиях, соответствующих условиям в КС; топливная смесь на базе сертифицированных углеводородных топлив (мазут, печное топливо) с добавками также сертифицированного мелкодисперсного угля и веществ-активаторов (карбамид, оксид кальция).

Предметами исследования являются способы активации процесса горения КСГ.

Методами исследования являются экспериментальные и расчетно-теоретические методы. В работе использованы экспериментальные методы термогравиметрии, термометрии и фоторегистрации посредством цифровой видеосъемки – при исследовании поведения капли КСГ, а также непосредственное сжигание КСГ в модельной КС с двухстадийной организацией процесса горения. Методы физического и математического моделирования при изучении особенностей поведения капли КСГ в высокотемпературной окислительной среде.

В ходе выполнения работы были поставлены и решены следующие задачи.

1. Разработать математическую модель, описывающую поведение капли КСГ в высокотемпературной окислительной среде, провести численное моделирование рабочего процесса и на основании сравнительного анализа результатов моделирования и эксперимента установить особенности рабочего процесса, сформулировать рекомендации по его активации.

2. Провести технико-экономический анализ показателей КСГ на базе сертифицированных углеводородных горючих (мазут, печное топливо) и мелкодисперсного угля и определить диапазоны наиболее целесообразных соотношений основных составляющих компонентов.

3. Провести анализ целесообразности использования различных веществ-активаторов и обосновать с точки зрения эффективной организации рабочего процесса их соотношение с основными компонентами КСГ.

4. Разработать научно обоснованные рекомендации составов КСГ и в лабораторных условиях реализовать технологию приготовления модельного КСГ.

5. Методами термогравиметрии и термометрии исследовать основные эле-

ментарные стадии эволюции порции горючего в зоне горения (включая стадию подготовки горючего) и сформулировать рекомендации по их активации.

6. С учетом сформулированных рекомендаций по активации рабочего процесса провести демонстрационные эксперименты на модельной КС и для разработанных и изготовленных в лабораторных условиях составов КСГ экспериментально определить основные теплофизические параметры процесса горения (температура, полнота сгорания).

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертация выполнена в рамках исследований по фундаментально-поисковым темам кафедры “Аэрокосмическая теплотехника” Национального аэрокосмического университета им. М.Е. Жуковского «ХАИ» согласно планам важных НИР и НИОКР «ХАИ», где нашли применение научные и прикладные результаты работы.

Данное направление исследований непосредственно привязано с госбюджетными темами: НИР Г205-15/2000-2002 “Теоретические основы моделирования теплоэнергетики современных объектов авиационно-космической техники”; НИР Г205-26/2003 “Теория моделирования теплогидравлических процессов в современных объектах авиационно-космической техники”, в которых соискатель принимал участие. В частности, им были выполнены расчеты равновесного состава продуктов сгорания КСГ, и затем полученные данные были использованы при моделировании рабочего процесса.

Результаты работы нашли также применение при выполнении хозяйственных НИОКР по темам: 34/2002-ЦТФ «Анализ энергетической эффективности конвертируемых на сложные циклы ГТТ семейства Д-336 и АИ-336 и разработка перспективных элементов их обслуживающих систем».

Научная новизна полученных результатов. На защиту выносятся следующие результаты:

- Впервые установлено влияние выбранных активаторов на элементарные стадии горения КСГ и установлен эффект многостадийности.
- Усовершенствованы физическая и математическая модели поведения ка-

пли КСГ с активатором в окислительной среде. Показано влияние угля, воды и активаторов на интегральные характеристики топлива.

- Впервые получены и сопоставлены термограммы и хронограммы стадий процесса горения КСГ с различными активаторами.

На основе полученных экспериментальных результатов автором усовершенствована физическая и математическая модели поведения капли суспензионного горючего в окислительной среде, температура которой выше температуры кипения жидкой основы с учетом установленных эффектов активации. Посредством математического моделирования исследовано влияние веществ-активаторов на температуру процесса горения, скорость диспергирования конгломерата и полноты сгорания топлива. Результаты численного моделирования подтверждены экспериментально. Экспериментально и теоретически подтверждена действенность предложенных методов активации.

Посредством расчета равновесного состава продуктов сгорания (ПС) с использованием модернизированного SOFTWARE ASTRA-4M проведено исследование влияния различных веществ-активаторов на наличие в составе ПС токсичных компонентов (NO_2 , CO , NO , SO_3). Получены данные по рациональным соотношениям основных компонентов и веществ-активаторов. В лабораторных условиях показана реализуемость технологии приготовления КСГ рекомендованного состава.

- Впервые экспериментально показано, что рекомендованные рациональные соотношения (с точки зрения температуры ПС и минимизации токсичных составляющих) основных компонентов и веществ-активаторов эффективно активизируют рабочий процесс на стадиях подготовки топлива и горения. Подтверждена целесообразность использования в качестве вещества-активатора карбамида (H_2NCONH_2) для повышения температуры процесса горения и интенсификации процесса диспергирования; воды, для уменьшения результирующей вязкости топлива и интенсификации процесса испарения капли с улучшением суммарного водородного баланса горючего, а также оксида каль-

ция для понижения содержания серы в продуктах сгорания КСГ.

В лабораторных условиях на модельной КС подтверждена принципиальная возможность использования КСГ в КС, предназначенных для в теплогенерирующих установок. Испытания КС с использованием усовершенствованной технологии сжигания подтвердили правомерность и целесообразность сформулированных рекомендаций по активации процесса.

Практическая ценность полученных результатов:

1. Научно обоснованы рекомендации по составу КСГ, обеспечивающему снижение относительной стоимости вырабатываемой единицы тепловой энергии и одновременно реализуемость рабочего процесса в КС. Использованный в диссертации методический подход носит универсальный характер и может быть применен при разработке усовершенствованных технологий сжигания других видов горючего сложного состава.

2. Показана целесообразность использования веществ активаторов (вода, карбамид, известь) и определены рациональные процентные соотношения основных компонентов и веществ-активаторов. Предложена лабораторная технология приготовления КСГ с рациональным соотношением основных компонентов и веществ-активаторов, определены условия получения образцов стабильных составов.

3. Аналитически и экспериментально проведен анализ элементарных стадий процесса сжигания КСГ, что позволило сформулировать и научно обосновать рекомендации по организации рабочего процесса непосредственно в КС.

4. Установлено соответствие численных и экспериментальных результатов, относящихся к определению физических свойств КСГ, что дает возможность использования численного моделирования при решении задач создания КС для их последующего использования в промышленных условиях.

5. Разработанные и изготовленные экспериментальные установки и ме-

тодики проведения экспериментов используются в учебном процессе НАКУ ХАИ и в дальнейших научных исследованиях.

Апробация результатов диссертации. Основные материалы и результаты диссертации изложены, обговорены и позитивно оценены на шестом (2001г.) и седьмом (2002г.) международных конгрессах двигателестроителей, на ежегодной конференции молодых ученых (2001г.), конференции посвященной 10-летию обучения иностранных граждан в “ХАИ” (2002г.) и V международной научно-технической конференции АВИА 2003 в г. Киеве (2003г.).

Автор выражает благодарность:

- научному руководителю, доктору физико-математических наук, профессору Бастееву Андрею Владимировичу за постоянное внимание и помощь в работе;
- кандидату технических наук, старшему научному сотруднику Форфутдинову Виктору Владимировичу за помощь при проведении экспериментов и полезные советы при обсуждении полученных результатов.