

АННОТАЦИЯ

диссертации, представленной на соискание ученой степени
доктора философии (PhD) по образовательной программе
«8D07102 –Теплоэнергетика»
(группа образовательных программ «D098 –Теплоэнергетика»)

КОЛДАСОВОЙ ГУЛЬЗИРЫ АЙНАДИНОВНЫ

на тему «**Исследование и повышение эффективности энергетического использования низкокалорийных газов с добавлением водорода**»

Актуальность диссертационного исследования. В современных условиях глобального энергетического перехода к устойчивым и низкоуглеродным источникам энергии особое значение приобретают задачи повышения эффективности использования существующих энергоресурсов. При этом с введением строгих экологических норм и стандартов требуется разработка новых технологий, обеспечивающих сокращение выбросов парниковых газов и повышение экологической безопасности.

Свалочные газы, образующиеся при разложении органических отходов, содержат метан (30–50%), углекислый газ и ряд примесей, обладающих значительным парниковым эффектом. Для снижения вредных выбросов необходимо создать условия стабильного и полного сгорания низкокалорийного топлива.

Для полного сжигания низкокалорийного газа требуется экологически чистый энергоноситель, способный улучшить характеристики горения топлива. Перспективным направлением является использование водорода, который позволит повысить энергетическую эффективность установок, а также снизить выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ в окружающую среду.

Таким образом, сжигание низкокалорийных газов с добавлением водорода представляет собой перспективное решение, позволяющее повысить полноту сгорания и уменьшить образование вредных продуктов, таких как NO_x , CO и углеводороды. Метан и углекислый газ относятся к числу парниковых газов, причем парниковый эффект метана в 25 раз превышает парниковый эффект углекислого газа.

В странах Европейского союза, США и Китая реализуются масштабные программы по утилизации низкокалорийных газов и внедрению водородных технологий. В Китае утилизация свалочного газа развивается в рамках государственной программы «*Hydrogen Energy Industry Development Plan (2021–2035)*». Реализуются проекты по совместному использованию биогаза и водорода из возобновляемых источников.

В Казахстане ежегодно на полигонах образуется свыше 250 млн м^3 газа, который сжигается без использования в энергетических целях. В этих условиях задача по утилизации свалочного газа становится актуальной.

Добавление водорода к низкокалорийным газам для полного их сжигания соответствует стратегии по снижению выбросов и развитию экологически чистой энергетики.

Существующие технологии сжигания низкокалорийных газов не всегда обеспечивают требуемую полноту сгорания и соответствие экологическим нормативам. Добавление при малых долях водорода (2–10 %) к топливной смеси способствует интенсификации процесса горения, стабилизации пламени и снижению образования токсичных соединений. Однако процессы горения смесей низкокалорийных газов с добавлением водорода и создание специальных горелочных устройств для их сжигания остаются недостаточно изученными, что определяет актуальность данного исследования.

Актуальность также подтверждается участием в грантовом проекте с государственным финансированием МНВО РК по теме ИРН АР14872041 «Разработка и исследование новых фронтальных устройств камер сгорания ГТУ для повышения экологической безопасности и эффективности работы газотурбинных установок в Казахстане», где результаты исследования были использованы в научных отчетах.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности энергетического использования низкокалорийных газов путем разработки горелочного устройства для их сжигания с добавлением водорода.

Для достижения поставленной цели решаются **следующие задачи исследования:**

1. Провести анализ существующих технологий утилизации низкокалорийных газов.
2. Смоделировать процессы воспламенения и горения низкокалорийных газов с водородом.
3. Разработать технические решения по утилизации низкокалорийного газа с добавлением водорода на основе моделирования процесса горения газовой смеси в новой горелке с оценкой выхода NO_x .
4. Создать экспериментальный стенд для исследования процесса горения газовой смеси при различных режимах работы предлагаемого горелочного устройства.
5. Разработать рекомендации по созданию новых газовых горелок с оценкой эффективности сжигания низкокалорийных газов.

Объектом исследования диссертационной работы является горелочное устройство, обеспечивающее микрофакельное сжигание смеси низкокалорийных газов с добавлением водорода.

Предмет исследования диссертационной работы – закономерности формирования газовой смеси и образования вредных выбросов в процессе их сжигания.

Основная идея и внутреннее единство работы. Используя методы системного анализа, теории горения газообразного топлива и принципы экологизации теплоэнергетических установок, разработать технические решения в конструкциях горелки камеры сгорания ГТУ и КУ для снижения образования оксидов азота. В частности, для сжигания низкокалорийных газов

использовано техническое решение горелки для создания газовой смеси с водородом, что позволило устойчивое горение газа и снизить вредные выбросы.

Методологическая база основывается на: основных законах и закономерностях тепломассообмена, термодинамики, механики жидкости и газа, также теоретические и экспериментальные данные в области исследования образования оксидов азота парогазовой установки. В качестве информационных источников использовались научные статьи, материалы конференции, справочные данные и данные собственных экспериментов и численного моделирования.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и исследовании нового типа горелочного устройства, обеспечивающего устойчивое микрофакельное сжигание смеси низкокалорийных газов с водородом:

- установлены оптимальные конструкционные и аэродинамические параметры ГУ, обеспечивающие снижение выбросов NO_x и повышение эффективности сжигания.

- установлены зависимости концентрации вредных выбросов от конструкционных и режимных параметров горелочного устройства.

Достоверность работы. Результаты полученные при проведении экспериментов обладают необходимой степенью достоверности, по следующим причинам:

- 1) при проведении исследования нового горелочного устройства, обеспечивающего микрофакельного сжигания смеси низкокалорийных газов с H_2 использовались поверенные приборы и апробированные методики.

- 2) результаты экспериментов и численного моделирования согласовывались с результатами зарубежных авторов;

- 3) результаты обладают необходимой степенью достоверности, поскольку подтверждаются сходимостью расчетных и экспериментальных данных.

Практическая значимость диссертационной работы обусловлена возможностью эффективного использования низкокалорийных газов, как возобновляемого источника энергии для выработки тепла, электроэнергии или комбинированного энергопроизводства.

Предложенные горелочные устройства, новизна которого подтверждена Патентом РК, могут быть использованы для утилизации низкокалорийных газов. Его применение способствует снижению выбросов парниковых газов, энергетической зависимости и загрязнения окружающей среды, а также способствует развитию инновационных технологий по утилизации отходов.

Учебные пособия могут использоваться в учебном процессе в ВУЗах для подготовки специалистов в области теплоэнергетики.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты моделирования и экспериментальных исследований процессов горения смеси газов, низкокалорийных газов с добавлением H_2 ;

- новая технология утилизации низкокалорийных газов с добавлением

водорода;

- разработаны конструктивные решения газовых горелочных устройств для сжигания низкокалорийных газов с добавлением водорода, характеризующиеся высокими технико-экологическими показателями.

Личный вклад диссертанта состоит:

- в литературном анализе и патентном поиске по современному состоянию вопроса и совместно с научным консультантом в постановке задач исследований;

- в разработке модели процесса горения низкокалорийных газов с добавлением H_2 ;

- в подготовке и оформлении заявок на предполагаемые патенты РК;

- в подготовке чертежей и изготовлении физической модели горелочного устройства;

- в проведении и обработке экспериментальных исследований.

Апробация результатов диссертационной работы. Основные результаты работы были представлены и обсуждены на международных научно-технических и научно-практических конференциях:

- XI Международная научно-техническая конференция «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование» 16-18 октября 2020 г. (Алматы, 2020);

- Международная научно-техническая конференция «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование» (Алматы, Казань, 20-21 октября 2022 г.);

- International Conference on Electronics, Engineering Physics and Earth Science (EEPES 2024) Kavala, Greece, June 19-21, 2024 (SCOPUS);

- Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «Scientific community: Interdisciplinary research». - Hamburg, Germany, № 96, 26-28.01.2022. - P. 831-841.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 публикаций, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК; 4 в материалах международных научно-технических и научно-практических конференции; 3 патента РК на изобретение и 1 патент на полезную модель; 2 статьи в журналах «Energies» (Q1-75%) и 1 статья «Engineering Proceedings» (Q3-26%), входящих в базу данных Scopus и WoS; 2 учебных пособия «Отын және жану процестері. Төмен сортты отынды жағудың ерекшеліктері» и «Жылу энергетикалық жүйелер мен энергияны қолдану».

Объем и структура диссертации: Содержания диссертационной работы: нормативные ссылки, обозначения и сокращения, введение, разделы из 4 глав, 13 подразделов, заключение, список использованной литературы и приложения. Объем диссертации составляет 157 страниц компьютерного набора, включая 80 рисунков, 30 таблиц и список литературы в 153 наименованиях.

Введение содержит выявленные проблемы по тематике исследования и актуальность выбранной темы. Представлены постановка цели и задач

исследования, научная новизна работы, достоверность, личный вклад автора, статьи и апробация результатов исследования.

В первой главе проведён глубокий анализ современного состояния вопроса и дана развёрнутая характеристика низкокалорийных газов различного происхождения – свалочного газа, биогаза и газов газификации ТБО. Отмечены их энергетические и экологические особенности, а также сложности их прямого применения в газовых турбинах и котлах из-за низкой теплотворной способности и нестабильности процесса горения. Автор аргументированно обосновывает необходимость обогащения низкокалорийных газов водородом и метаном с целью повышения их энергетических характеристик и устойчивости пламени.

Во второй главе представлены теоретические исследования процессов горения смесей биогаза с добавлением водорода, выполненные с применением современных методов численного моделирования в пакете программ ANSYS Fluent. Автор детально исследовал закономерности изменения скорости горения, температуры, состава продуктов сгорания и концентраций токсичных веществ при различных долях водорода и коэффициентах избытка воздуха. Полученные результаты позволили установить оптимальные диапазоны параметров для обеспечения максимальной полноты сгорания при минимальных выбросах оксидов азота.

Третья глава посвящена разработке технических решений и созданию экспериментального стенда. Особо следует отметить конструктивное решение новой горелки, адаптированной к сжиганию смесей низкокалорийных газов с добавлением водорода. Автор разработал физическую модель устройства, обеспечивающую стабильное горение при варьировании состава и температуры газовой смеси. Прделана значительная работа по проектированию, сборке и испытанию стенда, а также по разработке методики измерений и оценке погрешностей. Этот раздел демонстрирует высокий уровень инженерной подготовки и практической компетенции исследователя.

В четвёртой главе проведено сопоставление экспериментальных данных с результатами теоретического моделирования, выполнен анализ эффективности предложенного горелочного устройства и разработаны рекомендации по его дальнейшему внедрению. Установлено, что использование смеси биогаза с добавлением до 20 % водорода обеспечивает устойчивое сжигание, повышение температуры факела и снижение концентраций продуктов не полного сгорания. Результаты работы обладают практической направленностью и могут быть использованы при проектировании и эксплуатации водогрейных котлов и газотурбинных установок, работающих на отходящих или альтернативных газах.

В заключении указывается, что все исследовательские цели диссертации достигнуты, поставленная задача выполнена, и представлены основные результаты и рекомендации теоретических и экспериментальных исследований.