

АННОТАЦИЯ

диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07101 – Возобновляемая энергетика (группа образовательных программ D098 – Теплоэнергетика)

САРАКЕШОВОЙ НУРБУБИ НУРКЕНОВНЫ

«Разработка системы смесеобразования и стабилизации микрофакелов для малых водогрейных котлов при сжигании природного газа»

Актуальность исследования. Теплоснабжение всегда было одной из важнейших потребностей человечества, особенно тех, кто живет в регионах с суровыми климатическими условиями. Жилые здания, характеризующиеся высокой энергопотребностью, оказывают влияние на экологическую обстановку. В связи с этим важно стремиться к сокращению расходов и придерживаться принципа эффективности экологических показателей в теплоснабжении.

Год за годом развивается рынок возобновляемых источников энергии. В нашей стране на базе солнечных и ветровых электростанции вновь вводятся мощности, что свидетельствует об использовании «чистой» энергии, к тому же, постепенно повышается доля биогаза при выработке электрической и тепловой энергии. Несмотря на это, в таких отраслях как энергетическая, нефтеперерабатывающая и металлургическая, в данный момент доминируют технологии по сжиганию газообразного топлива.

В настоящее время актуальной задачей является разработка инновационных технических решений, направленных на повышение эффективности и экологичности процессов сжигания топлива на электростанциях. Это включает, в частности, усовершенствование малых водогрейных котлов, предназначенных для сжигания природного газа (включая пропан-бутановую смесь), топливных смесей, основанных на свалочных газах, и продуктов термического разложения отходов промышленного и коммунального происхождения.

При этом значительное количество малых котельных остро нуждается в модернизации, замене устаревшего оборудования или ремонте. Однако выполнение этих работ затруднено по ряду причин. В Казахстане основными источниками производства энергии остаются тепловые электростанции, к тому же, в последние годы наблюдается тенденция к увеличению роли децентрализованных малых и средних котельных, находящихся как в государственной, так и в частной собственности.

Эти котельные различаются по мощности и типу, а их применение весьма разнообразно. В ряде регионов, таких как Акмолинская, Карагандинская и Северо-Казахстанская области, значительная доля оборудования представлена устаревшими малыми котельными агрегатами,

функционирующими на твердом и жидком топливе. Особое место занимают типовые малые районные котельные, что подчеркивает актуальность исследований в области создания современных горелочных устройств для малых водогрейных котлов, работающих на газе:

- КВТс от 0.1 до 0.4 - ИП Столяренко, ТОО "STEM-4" (с. Зеренда).
- КВУ от 0.1 до 3.5 - ТОО Титан (г.Костанай).
- КДГ от 220 кВт до 525 кВт - ТОО АЗИЯКОТЛОМАШ (г. Щучинск).
- КО от 60 кВт до 525 кВт- ТОО Тепломеханик (г. Караганда).
- КСВр от 0.1 до 0.3 - ТОО АЗИЯКОТЛОМАШ (г. Щучинск).
- Котлы ТЕНТЕК – бытовые от 12 до 100 кВт – ТОО «Карагандийский Котельный Завод» (г. Караганда).
- Также самодельные (маломощные) котлы печного типа, которые имеют ряд недостатков, далее отмечены по тексту работы.

Совокупность таких проблемных вопросов порождает большой научный интерес к необходимости модернизации, обеспечения эффективности старых котельных и соблюдения более строгих требований природоохранного законодательства.

Ярким примером, исследованным в данной работе, является модернизация и разработка систем смесеобразования и стабилизации микрофакелов для малых водогрейных котлов, использующих природный газ. Введение магистрального газопровода «Сары-Арка», проходящего через Кызылординскую, Карагандинскую, Акмолинскую и Северо-Казахстанскую области, создает предпосылки для перевода поселковых котельных с твердого топлива на природный газ.

Исследования в этом направлении нацелены на обеспечение эффективного перехода котельных на природный газ с соблюдением строгих требований к экономичности и экологичности. Это возможно благодаря использованию технологии микрофакельного сжигания, при которой топливо горит в форме множества мелких факелов с коэффициентом избытка воздуха, близким к стехиометрическому. Такое решение обеспечивает высокую полноту сгорания топлива, стабильность процесса горения и минимизацию выбросов вредных веществ.

Объектом исследования является микромодульная газовая горелка с внезапным расширением на выходе.

Предмет исследования: системы смесеобразования и стабилизации микрофакелов для сжигания природного газа.

Цель исследования: разработать систему смесеобразования и стабилизацию микрофакелов для котлов малой мощности при сжигании природного газа (пропан-бутановой смеси).

Для достижения этой цели решаются следующие **задачи:**

- Провести литературно-патентный анализ по выявлению причин образования вредных веществ в малых водогрейных котлах и основных направлений улучшения технических и экологических показателей в газовых горелках;

- Разработать экспериментальный стенд и организовать его изготовление;
- Разработать новую микромодульную газовую горелку (ММГГ) и комплексно исследовать характеристики модели;
- Используя численное моделирование в программном комплексе COMSOL Multiphysics изучить аэродинамику потока воздуха в горелочном устройстве;
- Исследовать физическую модель горелочного устройства с процессами горения при сжиганиях пропан-бутановой смеси с помощью пакета программ Ansys Fluent;
- На экспериментальном стенде, созданном в период работы над диссертацией, провести комплексные исследования характеристик горелочного устройства (коэффициент полноты сгорания топлива, распределение температурного поля, выход токсических соединений) и выявить эффективные размеры и их соотношения;
- Провести сравнения результатов теоретических и экспериментальных данных;
- Выдать рекомендации по использованию микромодульной газовой горелки.

Практическая значимость данного исследования состоит в разработке и получении:

- принципа использования внезапного расширения в микромодульной газовой горелке, обеспечивающего высокую стабилизацию факела и низкие выбросы токсичных веществ, защищенного авторским свидетельством на изобретение;
- результатов с внедрением в производство и учебный процесс. Результаты работ зафиксированы актами внедрения от производственных предприятий ТОО «КазКотлоСервис» и ТОО «SMN Trade». Виды микрофакельного сжигания и стабилизация горения внедрены в учебный процесс в НАО «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина» с 2022–2023 учебного года.

Полученные экспериментальные данные по микрофакельным устройствам позволяют создать новую конструкцию газовых горелок, обладающих высокими экологическими и технико-экономическими показателями.

Научная новизна работы отражена в новых патентах по способам смесеобразования и стабилизации пламени, а также в экспериментальных и теоретических результатах исследований, в частности:

- Разработана новая конструктивная схема микромодульной горелки на базе микрофакельных топливосжигающих устройств, обеспечивающая низкие выбросы токсичных веществ;
- Исследован принцип микрофакельного сжигания в ММГГ с внезапным расширением на выходе;
- Определены эффективные соотношения диаметров насадок для ММГГ и выбросы токсичных NO и CO;

- В рамках диссертационной работы получены 2 Патента на изобретения.

Экспериментальные исследования в данной диссертационной работе выполнялось на базе комплекса научно-исследовательских и экспериментальных работ, в котором, ставились натурные эксперименты на производственной базе ТОО «Казкотлосервис».

Научные положения, выносимые на защиту:

- эффективное смесеобразования топливно-воздушной смеси в микромодульной газовой горелке с внезапным расширением на выходе, предназначенной для малых водогрейных котлов;

- результаты математического моделирования распределения скоростей и уровней турбулентности изотермических потоков в микромодульной газовой среде;

- результаты математического моделирования условий горения и концентрации вредных веществ, включая оксиды азота (NOx) и угарный газ (CO), в микромодульной газовой горелке;

- экспериментальные данные по изучению средней скорости и интенсивности турбулентности изотермических потоков внутри микромодульной газовой горелки;

- рациональная конструкция микромодульной газовой горелки с внезапным расширением на выходе.

Публикации. Основные положения отражены в научных публикациях: 15 научных статьях, докладах МНТК, трудах, в том числе: 2 научных статей, индексируемые в базе Scopus, 1 - в журнале Eastern-European Journal of Enterprise Technologies с процентилем на момент публикации 37%, 2 – в журнале Energies citesscore 6.2 (Q1) impact factor 3.0; 3 научные статьи в отечественных изданиях из списка рекомендованных КОКСНВО МНВО РК; 7 научных докладов в сборниках в международных научно-технических конференций, в том числе с очным выступлением в зарубежной научной конференции; в качестве автора и соавтора результаты научно-исследовательской деятельности были зафиксированы в двух Патентах РК на изобретения по тематике микрофакельного сжигания и опубликовано 1 учебное пособие.

Личный вклад автора включает выполнение литературного и патентного обзора по теме диссертации, проведение математического моделирования с использованием программного комплекса Ansys Fluent, разработку стратегий для проведения экспериментальных исследований, организацию и выполнение экспериментов, сборку экспериментального стенда, обработку экспериментальных данных, подготовку учебного пособия, публикацию статей в международных научных журналах, оформление патентов на изобретения, а также апробацию полученных результатов. Идея исследования и направление научной работы были определены при участии научного и зарубежного консультанта.

Достоверность результатов подтверждена сравнением расчетов с экспериментальными данными, а также их сопоставлением с результатами

аналогичных исследований. Средний несходимость результатов не превышает 12,5%. В ходе экспериментов использовалось поверенное оборудование с высоким классом точности, среднеквадратическое отклонение измерений находилось в пределах допустимой погрешности оборудований.

Объем и структура. Диссертация содержит введение, 4 раздела, заключение, список использованной литературы, приложения. Диссертация изложена на 103 страницах компьютерного набора, включая 47 рисунков и 10 таблиц, список литературы из 106 наименований.

Во введении обоснована актуальность научного исследования и конкретизирована рассматриваемая проблема. Описаны основная идея работы, ее научная новизна и достоверность, отражен личный вклад автора, а также представлены сведения об апробации результатов и публикациях.

Первый раздел диссертации посвящен анализу ключевых направлений развития котельного оборудования малой и средней мощности, роли малых водогрейных котлов в энергетических системах мира и Казахстана. Рассмотрены основные подходы к улучшению экологических характеристик, проведен обзор горелочных устройств для топок малых котлов, реализующих технологию микрофакельного сжигания (МФС). Описаны принципы и характеристики МФС, результаты теоретических и экспериментальных исследований в данной области. Также сформулированы цель и задачи исследования, предложена разработка и изучение микромодульной газовой горелки с внезапным расширением на выходе, предназначенной для малых водогрейных котлов.

Во втором разделе диссертации представлены результаты математического моделирования микромодульной газовой горелки с внезапным расширением на выходе, изучение аэродинамики потока, процесса микрофакельного сжигания конфузорно-диффузорного канала с внезапным расширением на выходе. Представлены результаты моделирования горения по определению зон распространения температур, а также структура потока на выходе из моделируемой области от используемого типа микрофакельных элементов.

В третьем разделе изложено описание экспериментальной установки и используемых физических моделей, подробно описана методика проведения экспериментов и измерения ключевых параметров, а также выполнена оценка погрешностей измерений.

Четвертый раздел включает результаты экспериментального исследования микромодульной газовой горелки. Представлены данные замеров температур и концентраций оксидов азота на выходе из ММГГ, а также результаты их анализа. На основе экспериментов выявлены зависимости концентраций оксидов азота, коэффициента полноты сгорания топлива и температурных неравномерностей от типа применяемых микрофакельных элементов и представлен сравнительный анализ данных по результатам теоретических и экспериментальных исследований.

В заключении подведены итоги работы, отражены основные результаты и выводы, сформулированные в ходе исследования.