

АННОТАЦИЯ

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

АМРЕНОВОЙ АЙГУЛЬ ЖАНУЗАКОВНЫ

на тему **«Разработка и исследование горелочного устройства
водогрейного котлоагрегата с низкими вредными выбросами»**

Актуальность темы диссертационного исследования. Топливо-энергетический комплекс является ключевой составляющей производственной инфраструктуры государства, от которой напрямую зависит рост экономического потенциала, национальная безопасность и качество жизни населения. В условиях широкомасштабной урбанизации и сопутствующего дефицита тепловой энергии в городах Казахстана активно развиваются автономные системы теплоснабжения. Водогрейные котлоагрегаты малой мощности сегодня выступают не только дополнением, но и полноценной альтернативой централизованному отоплению.

Однако в секторе автономного и промышленного теплоснабжения страны наблюдается доминирование экологически неблагоприятных технологий. Существующие конструкции котлоагрегатов характеризуются низкой эффективностью, высокой уязвимостью к коррозии и, что наиболее критично, значительными выбросами токсичных компонентов. Основной проблемой является несовершенство процессов смесеобразования и горения в традиционных диффузионных горелках, что ведет к образованию высокотемпературных зон и интенсивному синтезу термических оксидов азота (NO_x), а также недожогу топлива с выделением оксида углерода (CO).

Экологические показатели и энергоэффективность установок являются определяющими факторами развития современной котельной техники. В связи с этим, разработка и исследование малоэмиссионных горелочных устройств, использующих принципы микрофакельного сжигания (МФС), является актуальной научно-технической задачей, имеющей приоритетное значение для энергетической отрасли Республики Казахстан. Настоящая работа направлена на научное обоснование и практическую реализацию микрофакельного способа сжигания газа с использованием оригинальных конструктивных решений, позволяющих эффективно управлять экологическими и энергетическими характеристиками водогрейных котлов.

Актуальность также подтверждается участием в грантовых проектах с государственным финансированием №AP19680488 «Исследование эффективности и разработка оптимальных схемных решений комбинированных систем теплоснабжения с учетом использования ВИЭ в условиях Казахстана» и № AP26104599 «Разработка и исследование новых

схем и конструкции камер сгорания перспективных двигателей: ГТУ и двигателя Стирлинга, для повышения экологической безопасности и эффективности их работы в Казахстане», где результаты исследования докторанта были использованы в научных отчетах.

Целью работы является исследование особенностей рабочих процессов при микрофакельном сжигании газообразных топлив и разработка нового малоэмиссионного горелочного устройства для водогрейного котла.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи:

- анализ литературных источников и патентов, оценка эффективности работ малых водогрейных котлов и малоэмиссионных горелочных устройств, а также поиск путей создания горелок с низкими вредными выбросами;

- сборка экспериментального стенда, постановка и проведение исследований воспламенения и горения топлив, а также образования вредных продуктов сгорания;

- разработка и реализация в металле конструкции малоэмиссионного горелочного устройства для эффективного сжигания газообразного топлива в водогрейном котле малой мощности;

- математическое моделирование процесса горения, создание геометрической модели горелочного устройства и модели для 3-х мерных расчетных исследований с использованием Ansys Fluent;

- сравнение результатов численных экспериментов характеристик ГУ и экспериментальных результатов, полученных на стенде, с целью оценки эффективности исследуемой новой микрофакельной горелки;

- описание новых технических решений, направленных на создание малоэмиссионных горелочных устройств для ВК.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Исследована, апробирована и предложена новая конструкция микрофакельного горелочного устройства для сжигания газообразного топлива;

2. Результаты расчетных исследований процесса микрофакельного сжигания газообразного топлива и образования термических NO_x с использованием пакетов программ ANSYS Fluent, ANSYS CFD;

3. Получены новые экспериментальные результаты по влиянию конструктивных и режимных параметров (коэффициента избытка топлива) на экологические (NO_x , CO) и тепловые характеристики четырех различных типов горелочных насадок;

4. Установлены зависимости влияния конструкции горелки (в частности, аэродинамической и температурной структуры факела) на механизмы образования NO_x ;

5. Технические решения защищены патентами РК на изобретения (№37157 и № 37126).

По результатам выполненных работ и проведенных исследований, на защиту выносятся следующие основные научные положения и результаты:

1. Результаты разработки и экспериментальной апробации новой конструкции микрофакельного горелочного устройства, подтверждающие её экологические преимущества по сравнению с традиционными вихревыми аналогами.

2. Результаты численного (CFD) моделирования рабочих процессов в микрофакельной горелке, валидированные по экспериментальным данным.

3. Экспериментально установленные зависимости, связывающие конструктивные параметры (тип и геометрию горелочной насадки) и режимные факторы (коэффициент избытка воздуха, скорость подачи топлива и воздуха) с экологическими и теплотехническими характеристиками горения.

4. Рекомендованы новые технические решения, направленные на снижение вредных выбросов и расширение диапазона устойчивого горения в водогрейных котлоагрегатах малой мощности, что подтверждается патентами Республики Казахстан.

Практическая значимость исследования состоит в возможности внедрения разработанных конструктивных решений в существующие и новые водогрейные котлоагрегаты. Это позволит значительно сократить выбросы вредных веществ (NO_x , CO) и повысить экологическую безопасность тепловых электростанций и котельных в Казахстане.

Практическая применимость полученных результатов подтверждается актом внедрения, выданным котельным заводом ТОО «Казкотлосервис».

Материалы диссертационной работы могут быть включены в учебную программу при чтении экологических курсов, так и технических дисциплин, при подготовке дипломных проектов и магистерских диссертации.

Достоверность работы и полученных результатов обеспечивается:

- Применением современных высокоточных и сертифицированных средств измерений и проведением оценки погрешностей измерений;

- Воспроизводимостью экспериментальных данных и их сопоставлением с результатами аналогичных исследований зарубежных авторов;

- Валидацией результатов численного моделирования путем их сопоставления с данными, полученными в ходе собственных натуральных экспериментов;

- Исследуемая проблема нашла отражение в отчетах по проектам, госбюджетных тем: «Исследование эффективности и разработка оптимальных схемных решений комбинированных систем теплоснабжения с учетом использования ВИЭ в условиях Казахстана» (№АР19680488) и «Разработка и исследование новых схем и конструкции камер сгорания перспективных двигателей: ГТУ и двигателя Стирлинга, для повышения экологической безопасности и эффективности их работы в Казахстане» (№АР26104599).

- Подтверждением научной новизны полученными патентами РК на изобретения (№37157, № 37126).

Апробация результатов диссертации. Основные результаты работы были представлены и обсуждены на 12-й Международной научной конференции «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент» (Павлодар, 2022 г.); в двух тезисах международной научно-практической конференции «II юбилейные чтения Бойко Ф.К.» (Павлодар, 2025 г.); а также представлены в двух тезисах международной научно-технической конференции «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование» приуроченной к 50-летию университета (Алматы, 2025 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы отражены в 13 научных публикациях, в том числе: 3 научные статьи в отечественных изданиях, рекомендованных КОКСНВО; 2 статьи в журналах индексируемых в базе данных Scopus с процентилем 74 % и 75 %; 6 докладов в сборниках международных научно-технических конференций. Кроме того, получены 2 патента РК на изобретения (№37157, №37126) и 2 заявки (№371482, №370815) находятся на экспертизе.

Личный вклад диссертанта заключается в:

- постановке задач исследования;
- обзоре и анализе литературных и патентных источников по теме диссертации;
- проведении математического моделирования в численных исследованиях процессов горения и образования вредных выбросов;
- выполнении чертежей и изготовлении физической модели новой горелки для ВК;
- сборке экспериментального стенда и непосредственное проведение экспериментов;
- разработке новых технических решений малоэмиссионных горелочных устройств и оформление заявок на патенты;
- анализе и обобщении полученных результатов.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа выполнена автором в соответствии с действующими требованиями, структуры и содержания. Работа состоит из 4 основных разделов, списка условных обозначений, введения, заключения, списка использованной литературы и приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, отражена научная новизна и практическая значимость работы, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе проведен детальный анализ литературных и патентных источников. Рассмотрены существующие конструкции и проблемы эксплуатации малых водогрейных котлов. Проанализированы современные пассивные и активные методы интенсификации теплообмена. Выполнен критический обзор существующих малоэмиссионных горелочных устройств, выявлены их преимущества и

недостатки. На основе проведенного анализа сформулирована постановка цели и задач диссертационного исследования.

Во втором разделе представлены результаты экспериментальных исследований. В первой части проведены эксперименты по интенсификации теплообмена и определена оптимальная геометрия оребрения поверхностей нагрева. Во второй части представлена разработанная и запатентованная (Патент РК №37157) новая конструкция горелки. В третьей части приведены результаты основного огневого эксперимента – сравнительных испытаний четырех типов горелочных насадок, где доказываются экологические преимущества (снижение NO_x и CO) разработанной концепции «Тип D».

В третьем разделе представлено теоретическое обоснование (CFD-моделирование) результатов, полученных в Главе 2. Описана методология моделирования в Ansys Fluent, создание геометрии и сетки, и проведена валидация численной модели по экспериментальным данным. Проведен детальный анализ расчетных полей температур, скоростей и концентраций NO_x , объясняющий физический механизм снижения выбросов в разработанной горелке.

В четвертом разделе представлены новые технические решения, составляющие научную новизну диссертации. Описаны запатентованное «Горелочное устройство со ступенчатым подводом воздуха» (Патент РК №37126) и две заявки (№371482, №370815), находящиеся на экспертизе, включая горелку для утилизации промышленных газовых отходов.

В заключении сформулированы основные научные и практические выводы по диссертационной работе, подтверждающие достижение поставленной цели и решение поставленных задач.

Приложения содержат копии патентов Республики Казахстан на изобретения, акт внедрения результатов диссертационной работы от ТОО «Казкотлосервис», список опубликованных научных трудов по теме диссертации и фотографии с испытательной площадки.

Данное исследование направлено на решение важной научно-технической задачи, связанной с повышением экологической безопасности и эффективности водогрейных котлоагрегатов, что имеет значительный потенциал для практического применения в условиях Казахстана.