

## АННОТАЦИЯ

к диссертации Наурыза Бауыржана Құсайынұлы на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D07140 – Теплоэнергетика»

**Тема исследования:** Разработка и исследование микрофакельного устройства с встречно – закручивающимися течениями

**Цель диссертационного исследования:** Разработка и исследование микрофакельных фронтных устройств камер сгорания ГТУ со встречно-закрученными течениями, которые позволят обеспечить сжигание топлива с улучшенными технико-экономическими и экологическими показателями.

### **Задачи исследования:**

1. Провести анализ технологических и конструктивных решений по экологической безопасности камер сгорания ГТУ. Предложить горелочное устройство, использующее принцип микрофакельного сжигания топлива (МФС) с формированием встречно-закрученных течений;

2. Провести эскизные проработки фронта камеры сгорания с горелкой с ВЗТ и подать заявку на изобретение;

3. Провести математическое моделирование гидравлики и процессов горения во фронтном устройстве камеры сгорания с ВЗТ;

4. Разработать экспериментальный стенд и провести экспериментальные исследования горелочного устройства с ВЗТ на различных режимах горения с определением технико-экономических и экологических характеристик горелочного устройства;

5. Предложить уточненную зависимость для оценки образования оксидов азота в камерах сгорания ГТУ с ВЗТ;

6. Разработать схемы новых эффективных фронтных и горелочных устройств КС ГТУ с МФС и оформить патенты РК.

**Научная новизна.** На основании численного моделирования и экспериментальных исследований разработаны подходы к созданию эффективных топливосжигающих устройств камер сгорания ГТУ основанных на принципе микрофакельного горения с ВЗТ.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны МФУ с ВЗТ. При этом:

- получены новые теоретические и экспериментальные данные позволяющие на стадии проектирования проводить оценку размеров и характеристик горелочного устройства с ВЗТ;

- представлено эмпирическое уравнение для определения выбросов оксидов азота из камер сгорания при использовании МФУ с ВЗТ;

- разработаны новые конструктивные схемы микрофакельных горелочных и фронтных устройств камер сгорания ГТУ.

Новые конструктивные схемы могут быть использованы в индивидуальных и кольцевых камерах сгорания газотурбинных двигателей при сжигании газового и жидкого топлива для снижения уровня эмиссии  $\text{NO}_x$

и CO, обеспечения устойчивого горения топлива в широком диапазоне нагрузки и низкого уровня неравномерности температурного поля на выходе из камеры сгорания.

Научную новизну работы также подтверждают патенты РК.

**Практическая значимость работы** заключается в получении экспериментальных результатов и эмпирической зависимости, которые могут быть использованы при создании и проектировании других малотоксичных горелочных устройств и камер сгорания ГТУ. Разработанное горелочное устройство с ВЗТ можно использовать для сжигания газообразного топлива в КС ГТД, что улучшает ее характеристики и сокращает длину КС. Значительно уменьшается выход токсичных веществ, в частности оксидов азота, возможна модернизация существующего парка ГТУ и ГТД, с обеспечением высокого уровня технических, а также экологических показателей при сжигании газообразного топлива. В предложенном горелочном устройстве кроме газа может сжигаться и жидкое топливо.

Предложенная в работе методика расчета  $\text{NO}_x$  позволит на этапе проектирования принять оптимальные конструктивные решения и режимные параметры при модернизации камер сгорания.

**Методы исследования:** Для решения поставленных задач использовались экспериментальные методы исследования процессов горения в горелочном устройстве с ВЗТ, и обработка полученных экспериментальных данных, на основе математической статистики с использованием компьютерных программ. При исследовании процессов во фронтальной части камеры сгорания с МФУ использовалось математическое моделирование, которое выполнялось с использованием программных продуктов COMSOL Multiphysics и *Ansys Fluent*.

**Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями) выносимые на защиту**

1. Результаты численного моделирования и экспериментальных исследований процессов горения в горелочных устройствах с учетом ВЗТ;
2. Методика расчета образования вредных веществ с учетом встречно-закрученного потока в зоне горения;
3. Разработанная конструкция микрофакельного устройства с ВЗТ, имеющая высокие экологические и технические показатели.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** обеспечивается использованием высокоточных приборов и современными методами исследования, а также полученными результатами численного моделирования и согласованием расчетных данных с результатами натурных экспериментов и данными, полученными другими авторами.

**Личный вклад автора состоит:**

- в обосновании актуальности работы;
- в анализе и обобщении литературных данных;
- в проведении численного моделирования;

- в разработке и изготовлении экспериментальной установки и модели горелочного устройства;
- в планировании, проведении и обработке результатов экспериментальных исследований;
- в разработке методики расчета выхода  $\text{NO}_x$  для МФУ с ВЗТ;
- в разработке новых технических решений и получении патентов.

Диссертационная работа является результатом труда автора, материалы, использованные в диссертации, получены самостоятельно и в соавторстве с научными руководителями работы. Научное направление исследования и идея, определены при участии научного руководителя и зарубежного консультанта.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты были представлены и обсуждены на Международных научно-практических и научно-технических конференциях:

1. X Международная научно-техническая конференция Алматинского университета энергетики и связи (Казахстан, Алматы, 2018 г.);
2. Научная конференция с международным участием TIEM 2019 (Кавала, Греция 2019 г.);
3. Международная научно-техническая конференция «I юбилейные чтения Бойко Ф. К.», посвященной 100-летию Бойко Ф.К. (Казахстан, Павлодар, 2020 г.);
4. XI Международная научно-техническая конференция Алматинского университета энергетики и связи (Казахстан, Алматы, 2020 г.);

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 2 работ опубликованы в изданиях, рекомендованных комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 1 научная работа в журнале «Thermal Science», входящем в базу данных Thomson Reuters, 1 работы в зарубежных журналах, 4 работы в международных конференциях, 3 патента на изобретение и 1 учебное пособие.

**Объем и структура диссертации:** Диссертационная работа содержит введение, четыре раздела, заключение, список использованной литературы и приложения. Диссертация изложена на 117 страницах компьютерного набора, включая 51 рисунков, 10 таблиц и список литературы 161 из наименований.

**Во введении** раскрыта актуальность научной работы, изложена исследуемая проблема. Приведены основная идея, научная новизна, основные положения работы, личный вклад автора, а также апробация результатов и публикации.

**В первом разделе** диссертации представлен анализ состояния вопроса и обзор основных направлений улучшения КС ГТУ. Приведен анализ фронтных и горелочных устройств для камер сгорания, использующих принцип микрофакельного горения и отмечены его преимущества и недостатки. Показано, что микрофакельные устройства являются одновременно и топливоподающими и стабилизирующими элементами камер сгорания топливосжигающих установок, обозначены основные

направления развития МФУ, в том числе на базе встречно-закрученных течений. Представлена постановка цели и задач исследования.

**Во втором разделе** приведены результаты численного моделирования процессов подготовки топливоздушнoй смеси, горения топлива в МФУ с ВЗТ с учетом закрутки потока и образования токсичных веществ, в особенности оксидов азота. Для исследования преимуществ микрофакельного устройства с ВЗТ с предварительно подготовленной топливоздушнoй смесью, позволяющей существенно снизить уровень образования оксидов азота, были использованы отдельные основные части горелки, на которые соискателем были получены патенты. Исходя из проведенного анализа, в процессе моделирования было исследовано влияние закрутки лопаточных завихрителей противоположно закрученных на выходе МФУ. Результаты показали, что угол в  $60^\circ$  является оптимальным с точки зрения снижения эмиссии оксидов азота.

Для определения концентрации оксидов азота была предложена зависимость, где были введены коэффициент, учитывающий влияние качества смешения в первичной зоне камеры сгорания, определяемый конструкцией микрофакельного устройства и который зависит от типа завихрителя и угла установки лопаток друг к другу в осесимметричных каналах, а также высоты щелей для подвода воздуха между регистрами.

**В третьем разделе** приведено описание экспериментального стенда и физической модели для исследования микрофакельного устройства с ВЗТ. Представлена методика проведения экспериментов, описание и характеристики измерительных приборов, основные уравнения для определения основных параметров, а также оценка погрешностей измерения.

**В четвертом разделе** представлены результаты экспериментальных исследований процесса горения и эффективность сжигания газообразного топлива в МФУ с ВЗТ. Результаты численного моделирования даны в сравнении с результатами натурных экспериментов. Приведены разработанные технические решения, на которые соискателем получены авторские свидетельства, также сравнение технических решений, полученных соискателем, с их прототипами.

**В заключении** отражены основные результаты и выводы по диссертационной работе.