

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке
Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России
Б.Н.Ельцина»

А.В. Германенко

«19»

2022г.

М.П.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Шадрина Евгения Юрьевича
«Исследование структуры вихревых и многофазных потоков применительно
к перспективным технологиям тепловой энергетики», представленную
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы

Диссертационная работа Шадрина Е.Ю. посвящена экспериментальному исследованию сложных турбулентных потоков в изотермических лабораторных моделях энергетического оборудования. Проведенное комплексное исследование направлено на получение новых знаний о структуре вихревых и многофазных потоков с применением современных бесконтактных методов диагностики.

Тема работы является актуальной, поскольку непосредственно связана с поиском решений важных научных и практических задач энергетики, таких как повышение эффективности использования энергоресурсов и вовлечение в топливный баланс низкосортных топлив, недостаточно задействованных в настоящее время. С точки зрения экологии тема работы также характеризуется актуальностью, поскольку охватывает вопросы утилизации накопленных горючих отходов производства и переработки угля. Существующие технологии использования низкосортных топлив в теплоэнергетике не всегда обеспечивают устойчивость воспламенения, высокую полноту сгорания и соответствие

экологическим нормам. Тем самым, востребованы исследования, формирующие научно-технические основы для создания перспективных технологий и устройств, обеспечивающих высокую энергоэффективность и снижающих экологический ущерб состоянию окружающей среды.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы из 104 наименований, 2 приложений; общий объем составляет 108 страниц, включая 55 рисунков, 2 таблицы.

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна работы, представлены основные научные положения, выносимые на защиту, а также приведена теоретическая и практическая значимость полученных в работе результатов, дано обоснование их достоверности. Указан личный вклад соискателя.

Первая глава посвящена обзору современного состояния исследований по теме диссертации. Начиная с характеристики общего состояния проблемы, автор подробно описывает и анализирует применяемые технологии сжигания угольного топлива. Особое внимание уделено методам и результатам исследования процессов переноса в вихревых топках пылеугольных котлов и технологии сжигания угля в виде водоугольной суспензии. Представленный анализ убедительно свидетельствует об отсутствии достоверных экспериментальных данных, необходимых для обоснования способов управления структурой закрученного потока в камерах сгорания, решения задач оптимизации конструктивных характеристик и режимных параметров, верификации физико-математических моделей. Опубликованные ранее результаты измерений получены в ограниченном диапазоне параметров, имеют низкую точность и в некоторых случаях приводят к противоположным выводам. Эти обстоятельства подтверждают как практическую, так и научную востребованность комплексных исследований в данной предметной области.

На основе обзора и классификации существующих методов экспериментального изучения структуры турбулентных многофазных потоков автор обосновывает набор современных методов, необходимых для решения задач, поставленных в диссертационной работе: лазерная доплеровская анемометрия

(ЛДА); цифровая трассерная визуализация (Particle Image Velocimetry – PIV); прямая теневая фотография (Shadow Photography – SP) и др.

Тем самым, в первой главе обоснованы задачи исследования и определен комплекс методов измерений, позволяющий решить поставленные задачи.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальной установки, применяемых измерительных методик, разработанных технических решений и созданных лабораторных изотермических моделей энергетического оборудования.

Для исследования структуры закрученных потоков в изотермических моделях вихревых камер сгорания использовались бесконтактные оптические методы диагностики ЛДА и PIV. Для исследования характеристик многофазного потока, формируемого пневматической форсункой для распыления водоугольной суспензии, использовались методы PIV и SP. Использование этих методов позволяет получить большой массив данных в широком диапазоне параметров, обеспечивая высокую точность и производительность измерений.

В третьей главе представлены результаты проведенных экспериментальных исследований структуры вихревых и многофазных потоков в изотермических лабораторных моделях энергетического оборудования. В широком диапазоне расходов получены распределения скорости в различных моделях вихревых камер сгорания, визуализировано вихревое ядро потоков, проанализировано влияние изменения расхода на структуру потоков. Важным элементом новизны служит применение распределенного ввода потока в оригинальные вихревые камеры сгорания, что обеспечивает дополнительные возможности управления структурой закрученного течения. Для различных режимных параметров получены экспериментальные данные о структуре и дисперсном составе потока, формируемого пневматической форсункой для распыления водоугольной суспензии. Проведен анализ полученных данных, выявлены режимы, обеспечивающие важные практические преимущества исследуемых технологий сжигания угольного топлива. Сопоставление детальной экспериментальной информации с известными результатами численного моделирования позволило сделать вывод о применимости предложенных способов управления структурой потока, характерных для изотермических лабораторных моделей камер сгорания, к полномасштабным вихревым топкам пылеугольных котлов.

Полученные данные о режимах диспергирования водоугольной суспензии пневматической форсункой в зависимости от динамических условий и расхода фаз успешно использованы для реализации эффективного совместного сжигания угольной пыли и водоугольного топлива, описанного в **приложении Б**.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Рекомендации по использованию результатов

Результаты проведенного комплексного исследования структуры вихревых и многофазных потоков обладают **научной новизной и значимостью** в предметной области, относящейся к механике жидкости и газа, а также обладают **практической ценностью** для решения проблем теплоэнергетики, связанных с энергоэффективным и экологически безопасным использованием некондиционных видов топлива, утилизацией производственных отходов. В качестве наиболее важных результатов следует отметить следующие:

1. На основе передовых высокоточных методов получены новые детальные экспериментальные данные о структуре вихревых и многофазных потоков в изотермических моделях энергетического оборудования.
2. Предложены оригинальные способы управления структурой вихревого течения за счет использования распределенного ввода потока в камеру сгорания. Обоснованы новые принципиальные технические решения, защищенные патентом РФ.

Полученные результаты могут быть рекомендованы к **использованию** в российских образовательных и научных организациях, проводящих исследования в области горения: ОИВТ РАН, МЭИ, ОАО ВТИ, ТПУ, ТГУ, УрФУ, ИПМ ДВО РАН, ИТПМ СО РАН и др. Наряду с важностью полученных экспериментальных данных для проведения математического моделирования сложных многофазных потоков, результаты исследований могут быть использованы для решения практических задач, связанных с созданием перспективных топочных и горелочных устройств для оснащения теплоэнергетического оборудования.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечена использованием апробированных экспериментальных методов, измерительных

методик и оборудования, соответствующих поставленным задачам, проведением статистической обработки данных с оценкой погрешности измерений, контролем воспроизводимости результатов в пределах определенных доверительных интервалов.

Результаты исследований прошли достаточную **апробацию**, основные положения были вынесены на обсуждение как в форме публикации статей в ведущих рецензируемых журналах, так и в виде представления докладов на всероссийских и международных конференциях.

Замечания и недостатки

1. В обзоре научно-технической литературы основное внимание уделено результатам, представленным в отечественных источниках, и в меньшей степени анализу достижений зарубежных авторов.
2. Для камер сгорания с горизонтальной осью вращения отсутствует обобщение результатов исследования структуры течения в зависимости от режимных параметров наподобие того, как это представлено в графически в форме карты режимов для четырехвихревой камеры сгорания на рис. 3.22.
3. В разделе 2.2 при описании экспериментального стенда для исследования характеристик газокапельных потоков отмечено, что используемый метод теневой фотографии позволяет регистрировать капли с размерами в диапазоне от 10 мкм до 1 мм. При этом в разделе 3.2 (на рис. 3.25, 3.26) без дополнительных пояснений представлены результаты измерений размера частиц от 3 мкм.
4. В приложении Б приводятся результаты исследования совместного сжигания угольной пыли и водоугольной суспензии, однако не представлены важные с точки зрения теплоэнергетики данные о полноте сгорания топлива.

Отмеченные недостатки и замечания не влияют на положительную в целом оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа Шадрина Е.Ю. «Исследование структуры вихревых и многофазных потоков применительно к перспективным технологиям тепловой энергетики» является законченной квалификационной работой, обладающей

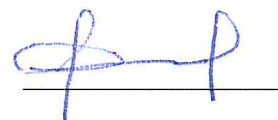
актуальностью, научной новизной, теоретической и практической значимостью результатов. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

Представленная диссертация соответствует п.9 положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Шадрин Евгений Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на семинаре кафедры Тепловые электрические станции Уральского энергетического института УрФУ (протокол № 14 от «15» сентября 2022 г.).

Профессор кафедры «Тепловые электрические станции»
Уральского энергетического института УрФУ,
доктор технических наук, профессор
(01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника)
Рыжков Александр Филиппович

«19» 09 2022 г.



Наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ).
Почтовый адрес: Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.
Телефон: (343) 375-44-44. Эл. почта: contact@urfu.ru Сайт: www.urfu.ru

Подпись Рыжкова Александра Филипповича заверяю:

должность, ФИО, подпись, печать

**УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В.А.**

