

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИТ СО РАН

Академик РАН Д.М. Маркович



М.П.

«29» апреля 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе

Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Исследование структуры вихревых и многофазных потоков применительно к перспективным технологиям тепловой энергетики» выполнена Шадриным Евгением Юрьевичем в ИТ СО РАН.

В 2015 году Шадрину Е.Ю. присуждена степень магистра, диплом магистра 105424 0956282. В 2019 году Шадрин Е.Ю. получил диплом об окончании аспирантуры 105424 3717855 по специальности 01.06.01 Математика и механика. В настоящее время Шадрин Е.Ю. работает младшим научным сотрудником лаборатории радиационного теплообмена ИТ СО РАН.

По итогам обсуждения принято следующее **заключение**.

К энергоэффективности и экологическим показателям технологий производства энергии во всём мире предъявляются всё более высокие требования. По прогнозам, уголь в обозримом будущем сохранит значительную долю в мировом балансе производства тепловой и электрической энергии. Однако запасы качественного угольного топлива ограничены, и на электростанциях всё в больших масштабах используется нерасчетное топливо, что снижает эффективность котлов. Кроме этого, остро стоит проблема сокращения территорий, занятых отходами углеобогащения. Как следствие, в настоящее время востребованы новые энергоэффективные и экологически безопасные технологии сжигания низкосортного угля и производственных отходов. Перспективными являются технологии факельного сжигания пылеугольного топлива в вихревом потоке, а также

водоугольной суспензии (ВУС). Достижение высоких показателей сжигания топлива в значительной степени зависит от пространственной структуры закрученного течения в объеме топочного устройства, от характеристик газокапельного потока. Организация внутренней аэродинамики камер сгорания влияет на равномерность распределения температуры и тепловых потоков, на время пребывания топлива в камере горения и полноту сгорания топлива, на шлакование теплообменных поверхностей и образование токсичных продуктов сгорания. Использование ВУС обладает по сравнению с традиционными технологиями сжигания важными преимуществами по степени выгорания топлива и уровню вредных выбросов.

Проведение экспериментальных исследований структуры вихревых и многофазных потоков в лабораторных моделях элементов перспективного теплоэнергетического оборудования с использованием современных производительных высокоточных оптических методов необходимо для верификации математических моделей процессов переноса и разработки таких устройств. Этим определяется **актуальность** темы диссертационного исследования.

Цели исследования:

- получение подробных и достоверных экспериментальных данных по структуре закрученного течения в ограниченном объеме с распределенным вводом потока и характеристикам высокоскоростной многофазной струи применительно к задачам современной теплоэнергетики;
- научное обоснование способов управления характеристиками потоков в элементах перспективного теплоэнергетического оборудования;
- применение полученных данных для валидации результатов численного моделирования.

Поставлены и решены следующие задачи:

- создание стендов для исследования структуры вихревых течений и характеристик газокапельных потоков, оснащенных современными измерительными системами и методиками, основанными на методах лазерной доплеровской анемометрии, цифровой трассерной визуализации, теневого метода;
- визуализация структуры изотермических закрученных течений, определение свойств вихревого ядра потока и уровня кинетической энергии турбулентности на основе бесконтактных методов измерения пространственного распределения осредненной и пульсационной составляющих скорости при различных условиях распределенного ввода потока в объем;

- выявление закономерностей влияния управляющих параметров на структуру исследуемых вихревых потоков;
- определение структуры и дисперсного состава газокапельного потока в зависимости от динамических условий;
- проведение валидации результатов численного моделирования на базе полученных экспериментальных данных;
- обоснование принципиальных технических решений и рекомендаций для разработки перспективного теплоэнергетического оборудования.

Научная новизна основных положений, результатов и выводов, полученных в диссертации:

- впервые с использованием передовых бесконтактных методов измерений в широком диапазоне параметров детально исследованы структура течения в модификациях камеры сгорания с горизонтальной осью вихревого потока и характеристики газокапельного потока при распылении водоугольной суспензии пневматической форсункой, формирующей высокоскоростной многофазный поток с кумулятивной струей и тороидальным вихрем;
- предложены оригинальные способы управления структурой вихревого течения за счет распределенного ввода в камеру сгорания;
- впервые на основе высокоточных оптических измерений получены зависимости характеристик многофазной струи от расхода конденсированной фазы и давления газа в пневматической форсунке для распыления водоугольной суспензии;
- обоснованы новые принципиальные технические решения, защищенные патентом РФ.

Теоретическая и практическая значимость проведенных исследований определяется:

- вкладом в развитие механики жидкости и газа, связанного с расширением эмпирической базы знаний о характеристиках сложных потоков;
- получением достоверной детальной информации о структуре потоков, необходимой для верификации физико-математических моделей и валидации результатов моделирования процессов в перспективных устройствах;
- возможностью применения полученных результатов при решении актуальных задач совершенствования технологий тепловой энергетики, использующих низкокачественное угольное топливо.

Степень достоверности результатов обеспечивается использованием современных хорошо зарекомендовавших себя бесконтактных методов диагностики многофазных потоков и высокоточных измерительных систем, предварительной настройкой и калибровкой оборудования, методиками обработки и анализом полученных данных и подтверждается воспроизводимостью результатов с учетом рассчитанных погрешностей, сопоставлением результатов, полученных различными методами.

На защиту выносятся:

1. Полученные на основе применения высокоточных бесконтактных методов распределения скорости закрученного течения в изотермических моделях вихревых камер сгорания в зависимости от условий распределенного ввода потока.
2. Выводы о влиянии соотношения расходов на характер структуры закрученного течения в объеме камеры сгорания с распределенным вводом потока.
3. Результаты экспериментального исследования структуры и дисперсного состава потока, создаваемого пневматической форсункой для распыления водоугольной суспензии в широком диапазоне динамических условий и расхода конденсированной фазы.
4. Принципиальные технические решения и рекомендации для разработки перспективного теплоэнергетического оборудования.

Личный вклад автора:

Автор внес определяющий вклад в создание экспериментальных стендов, постановку и проведение экспериментальных исследований, а также в осуществленные с участием научного руководителя анализ результатов и подготовку публикаций. Результаты, выносимые на защиту, получены автором лично.

Список работ автора по тематике диссертации, опубликованных в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК:

Shadrin E.Yu., Anufriev I.S., Butakov E.B., Kopyev E.P., Alekseenko S.V., Maltsev L.I., Sharypov O.V. Coal-water slurry atomization and combustion in a low-power industrial burner // Fuel. – 2021. – Vol. 303. – Article No. 121182. DOI: 10.1016/j.fuel.2021.121182

Alekseenko S.V., Anufriev I.S., Dekterev A.A., Shadrin E.Y., Kuznetsov V.A., Sharypov O.V., Boyko E.E., Naumov I.V., Kabardin I.K. Investigation of transfer processes in swirling flows in application to vortex furnaces for coal fuel // International Journal of Thermal Sciences. – 2021. – Vol. 161, Article No. – 106715. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2020.106715

Anufriev I.S., Shadrin E.Y., Kopy'ev E.P., Maltsev L.I., Sadkin I.S., Sharypov O.V. Spraying Liquid Using Pneumatic Nozzle for Suspension Fuel // Journal of Engineering Thermophysics. – 2020. – Vol. 29, Issue 4. – P. 542–548. DOI: 10.1134/S1810232820040025

Alekseenko S.V., Anufriev I.S., Dekterev A.A., Kuznetsov V.A., Maltsev L.I., Minakov A.V., Chernetskiy M.Y., Shadrin E.Y., Sharypov O.V. Experimental and numerical investigation of aerodynamics of a pneumatic nozzle for suspension fuel // International Journal of Heat and Fluid Flow. – 2019. – Vol. 77. – P. 288–298. DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2019.04.013

Ануфриев И.С., Куйбин П.А., Шадрин Е.Ю., Шараборин Д.К., Шарыпов О.В. Изучение аэродинамической структуры потока в модели вихревой топки стереоскопическим методом цифровой трассерной визуализации // Теплофизика и аэромеханика. – 2016. – Т. 23, № 4. – С. 645–648.

Ануфриев И.С., Стрижак П.А., Чернецкий М.Ю., Шадрин Е.Ю., Шарыпов О.В. Аэродинамика перспективной конструкции вихревой топки // Письма в Журнал Технической Физики. – 2015. – Т. 41, № 15. – С. 25–32.

Ануфриев И.С., Красинский Д.В., Шадрин Е.Ю., Шарыпов О.В. Визуализация структуры потока в вихревой топке // Письма в Журнал технической физики. – 2014. – Т. 40, №. 19. – С. 104–110.

Ануфриев И.С., Шарыпов О.В., Шадрин Е.Ю. Диагностика течения в вихревой топке нового типа методом цифровой трассерной визуализации // Письма в Журнал технической физики. – 2013. – Т. 39, №. 10. – С. 36–43.

Аникин Ю.А., Ануфриев И.С., Красинский Д.В., Саломатов В.В., Шадрин Е.Ю., Шарыпов О.В. Физическое и численное моделирование внутренней аэродинамики вихревой топки с рассредоточенным тангенциальным вводом горелочных струй // Вестник Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. – 2013. – Т. 8, №. 2. – С. 86–94.

Шадрин Е.Ю., Ануфриев И.С., Шарыпов О.В. Исследование процесса распыления и сжигания водоугольного топлива с использованием пневматической форсунки // Прикладная механика и техническая физика. – 2021. – Т. 62, № 3. – С. 165–171.

Красинский Д.В., Саломатов В.В., Ануфриев И.С., Шарыпов О.В., Шадрин Е.Ю., Аникин Ю.А. Моделирование топочных процессов при сжигании распыленного угля в вихревой топке усовершенствованной конструкции. Часть 1. Аэродинамика течения в вихревой топке // Теплоэнергетика. – 2015. – № 2. – С. 41–46.

Вихревая топка. Патент РФ на изобретение № 2585347. Патентообладатель: ИТ СО РАН. Авторы: Ануфриев И.С., Красинский Д.В., Саломатов В.В., Шадрин Е.Ю., Шарыпов О.В. Зарегистрирован 05.05.2016. Приоритет от 26.06.2015.

Апробация работы: основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на ряде российских и международных конференций: VIII Международная конференция «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках» (Москва, Россия, 2021), «XXXVII Сибирский теплофизический семинар» (Новосибирск, Россия, 2021), «XXXVI Сибирский теплофизический семинар» (Новосибирск, Россия, 2020), «XXXV Сибирский теплофизический семинар» (Новосибирск, Россия, 2019), The 5th International Workshop on Heat-Mass Transfer Advances for Energy Conservation and Pollution Control (Новосибирск, Россия, 2019), «Теплофизика и физическая гидродинамика» (Ялта, Республика Крым, Россия, 2018), «XXXIII Сибирский теплофизический семинар» (Новосибирск, Россия, 2017), «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках» (Новосибирск, Россия, 2017), Euromech Colloquium [581] “Dynamics of Concentrated Vortices” (Новосибирск, Россия, 2016), XV Минский международный форум по тепло- и массообмену (Минск, Беларусь, 2016), The 8th International Symposium on Coal Combustion (Пекин, Китай, 2015), The 9th International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting (Мюнхен, Германия, 2015), The 13th Asian Symposium on Visualization (Новосибирск, Россия, 2015), IV Минский международный коллоквиум по физике ударных волн, горения и детонации (Минск, Беларусь, 2015), Международная научная студенческая конференция МНСК-2015 (Новосибирск, Россия, 2015), Национальный конгресс по энергетике (Казань, Россия, 2014), XXXI Сибирский теплофизический семинар (Новосибирск, Россия, 2014), Международная научная студенческая конференция МНСК-2014 (Новосибирск, Россия, 2014), Международная научная студенческая конференция МНСК-2013 (Новосибирск, Россия, 2013).

Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите:

Содержание диссертации Шадрина Е.Ю., посвященной экспериментальному исследованию структуры вихревых и многофазных потоков, соответствует специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» для физико-математических наук.

Решение о рекомендации к защите

Диссертация «Исследование структуры вихревых и многофазных потоков применительно к перспективным технологиям тепловой энергетики» Шадрина Евгения Юрьевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

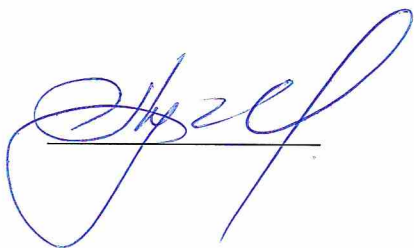
Заключение принято на семинаре, проведенном в рамках заседания секции 5 «Теплофизические основы энергетики» ученого совета ИТ СО РАН под руководством академика РАН С.В. Алексеенко. Автору рекомендовано сократить доклад в части приведенного в приложении к основному содержанию диссертации описания экспериментов с горением ВУС и пылеугольного топлива.

Присутствовало 14 человек, в том числе 1 академик РАН, 1 член-корреспондент РАН, 8 докторов наук, 4 кандидата наук. Результаты голосования: «за» – 14, «против» – 0, «воздержался» – 0. Протокол заседания от 7 апреля 2022 года.



Председатель

Алексеенко Сергей Владимирович, академик РАН,
д.ф.-м.н., научный руководитель ИТ СО РАН



Секретарь

Лукашов Владимир Владимирович, к.т.н.,
заведующий лабораторией