

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Сыродоя Семена Владимировича «Тепломассоперенос при воспламенении частиц перспективных композиционных топлив на основе угля», представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

1. Актуальность выбранной темы диссертационной работы

Одной из актуальных проблем современной энергетики является разработка новых наукоемких технологий сжигания угольного топлива в топочных устройствах котельных агрегатов ТЭС. Одним из перспективных технологических решений в настоящее время является сжигание угля в составе топливных композиций: водоугольное, био-водоугольное и биоугольное топливо. Однако, проведение опытно-конструкторских работ по проектированию соответствующих инновационных технологических процессов топливосжигания возможно лишь на основе сформированной теории воспламенения и горения частиц существенно неоднородных топливных композиций. Надо отметить, что такая теория на данный момент времени отсутствует.

В диссертационной работе приведены результаты систематических экспериментальных и теоретических исследований процессов зажигания и горения топливных частиц в условиях нагрева, соответствующих типичным режимам работы камер сгорания котельных агрегатов тепловых электростанций. По результатам экспериментов разработаны замкнутые математические модели, описывающие процессы тепло- и массопереноса, протекающие при зажигании частиц композиционных топлив при их высокотемпературном нагреве.

Очевидно, что диссертация полностью соответствует направлению Стратегии научно-технического развития Российской Федерации «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии», а также критической технологии Российской Федерации «Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе».

Целью работы по формулировке автора является разработка теоретической базы, необходимой для описания процессов термической подготовки, зажигания и горения частиц композиционного топлива на основе угля применительно к камерам сгорания котельных агрегатов тепловых электростанций.

Таким образом, диссертационная работа Сыродоя С.В., безусловно, отвечает всем критериями актуальности и научной новизны.

2. Содержание работы

Диссертация состоит из 7 глав, заключения и 6 приложений. Включает 403 страница текста, 186 рисунков и 33 таблицы. Список литературы насчитывает 535 источника, в том числе 40 — публикации автора по теме диссертации.

Во введении приведено обоснование актуальности тематики исследования. Показано, что будущее мировой энергетики и энергетического сектора России в частности всецело базируется на ренессансе угольного топлива, что обусловлено рядом объективных и субъективных причин. Однако же (и диссертант об этом подробно пишет), есть ряд значительных проблем, связанных с высокой антропогенностью угля и сложностями организации его эффективного сжигания, которые значительно затрудняют широкомасштабное внедрение угольного топлива в циклы теплоэлектрогенерации. Представлен анализ технологических решений, позволяющих ответить на ряд вопросов, связанных с экологическими проблемами, по результатам которого сделан вывод о том, что самым перспективным направлением развития угольной энергетики являются технологии сжигания угля в составе топливных композиций.

В первой главе дается анализ современного состояние теории и практики изучения процессов зажигания и горения частиц композиционных топлив в условиях высокотемпературного нагрева. По результатам обзора показано, что сжигание угля в составе топливных композиций существенно снижает антропогенную нагрузку на окружающую среду в районах расположения тепловых электрических станций. Отмечено, что до сих пор не разработано замкнутых математических моделей процессов воспламенения капель и частиц топливных композиций на основе угля. Сделан обоснованный вывод о том, что недостаточное теоретическое описание процессов зажигания и горения частиц композиционного топлива на основе угля существенно тормозит широкомасштабное внедрение таких топлив в глобальную технологическую цепочку производства тепловой и электрической энергии.

Вторая глава посвящена разработке математических моделей процессов зажигания и горения капель (в исходном состоянии топлива), а затем частиц (после высушивания приповерхностного слоя) водоугольного топлива при высокотемпературном радиационно-конвективном нагреве. На первом этапе проведены экспериментальные исследования процессов зажигания при различных условиях нагрева: в потоке и в относительно неподвижном (в начальном этапе нагрева) высокотемпературном окислителе. По результатам проведенных экспериментов выделены основные стадии процессов термической подготовки, зажигания и горения частиц ВУТ. Верификация разработанных математических моделей проведена методом сравнительного анализ интегральных характеристик процессов зажигания. Показано, что

водоугольные капли закипают до полного испарения всей влаги. Соответственно, последующее горение происходит в условиях продолжающегося испарения. По результатам проведенных теоретических исследований проанализировано большое множество оказывающих существенное влияние на характеристики зажигания и горения топливных частиц факторов.

В третьей главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов зажигания частиц влажной древесной биомассы в условиях интенсивного радиационно-конвективного нагрева. По результатам экспериментов выделены процессы тепло- и массопереноса, протекающие в период времени, предшествующему зажиганию частицы. Последнее позволило разработать подробные замкнутые математические модели процессов зажигания и горения частицы древесной биомассы. Важным выводом, сформулированным по результатам теоретических исследований, является то, что выбор той или иной кинетической схемы пиролиза древесной биомассы не оказывает значимого влияния на характеристики и условия зажигания частиц древесной биомассы. Соответственно, при разработке новых прогностических моделей процессов зажигания или газификации древесной биомассы обосновано применение относительно простых кинетических схем при описании процесса пиролиза основных компонентов биомассы с применением брутто реакций. Также стоит особо отметить результаты анализа влияния формы топливных частиц на динамику их воспламенения. Последнее особенно важно при обосновании конструктивных характеристик оборудования, проводящего механическую подготовку древесной биомассы к сжиганию.

В четвертой главе приведена формулировка математических прогностических моделей процессов зажигания и горения многокомпонентных топлив на основе угля, перспективных для энергетики: органо-водоугольных (смеси диспергированного угля, нефти и воды) и био-водоугольного (смесь диспергированных угля и биомассы с водой). Надо сказать, что до недавнего времени математических моделей, описывающих совместно протекающие процессы тепло- и массопереноса при высокотемпературном нагреве частиц таких существенно неоднородных топлив, разработано не было. По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований определены необходимые для проведения опытно-конструкторских работ по проектированию камер сгорания, сжигающих такие топлива, характеристики: времена задержки зажигания при широкой вариации определяющих факторов (температура внешней среды, размеры частицы, составы топлива); предельные температуры зажигания.

В пятой главе приведены прогностические модели процессов совместного зажигания и горения частиц древесно-угольного топлива в условиях высокотемпературного нагрева в окислительной среде. До недавнего времени математических мо-

делей, описывающих совместное протекание процессов воспламенения и горения частиц угля и древесины разработано не было. Математические модели, сформулированные в работе отличаются от ранее разработанных детальным описанием теплофизических и термохимических процессов, протекающих при зажигании частиц древесины и угля. Верификация математических моделей проведена методом сравнительного анализа теоретических и экспериментальных значений времен задержки зажигания. Разработанные прогностические модели позволят осуществлять проведение процедуры выбора оптимальных конструктивных характеристик топочных и горелочных устройств котельных агрегатов, работающих на таких топливах.

Шестая глава посвящена результатам математического моделирования теплофизических и термохимических процессов, приводящих к секвестрованию антропогенных продуктов горения композиционного топлива на основе угля. Показано, что водяной пар, формирующийся при испарении воды, выступает в качестве адсорбирующего агента для оксидов серы и азота, переводя последние в серную и азотную кислоты, которые легко удаляются из продуктов сгорания. Такой результат получен впервые.

В седьмой главе приведено обоснование практической значимости и экономических преимуществ замены однородного угля на водоугольное топливо. По результатам математического моделирования показано, что при сжигании водоугольного топлива эффективность передачи теплоты от внутрикотловой среды много выше по сравнению со сжиганием угля в пылевидном состоянии за счет снижения интенсивности шлакообразования.

3. Научная новизна и практическая ценность работы

Научная новизна работы состоит в разработке математической базы, необходимой для описания комплекса процессов термической подготовки, зажигания и горения частиц эколого- и энергopersпективных композиционных топлив на основе угля применительно к типичным топочным устройствам котельных агрегатов ТЭС.

Впервые предложен новый подход к прогнозированию физико-химических процессов, протекающих совместно в условиях интенсивных фазовых и термохимических превращений при зажигании и горении частиц композиционных топлив. Проведен анализ влияния основных значимых факторов (в широком их диапазоне) на характер протекания комплекса процессов термической подготовки топлива к сжиганию.

Практическая ценность работы заключается в разработке моделей, описывающих процессы воспламенения и горения частиц композиционных топлив на основе угля, что позволяет существенно расширить возможности проведения процедуры оптимального выбора конструктивных характеристик топочных устройств котель-

ных агрегатов, сжигающих эти топлива. Впервые приведено обоснование широкомасштабного внедрения водоугольного топлива в общий технологический цикл производства тепловой и электрической энергии. Практическая значимость полученных результатов подтверждается 11-ю свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ и двумя актами внедрения.

4. Степень обоснованности и достоверность положений, выводов и рекомендаций

На основе подробного анализа основных закономерностей протекания процессов термической подготовки и зажигания частиц композиционного топлива применительно к камерам сгорания котельных агрегатов, выполненного по результатам комплекса экспериментальных исследований, разработаны математические модели, отличающиеся от известных детальным описанием процессов тепло- и массопереноса, протекающих в период термической подготовки топливных частиц. При выполнении данных исследований применялись апробированные современные средства метрологического сопровождения экспериментальных процедур и стандартные методы решения задач математической физики. Полученные экспериментальные результаты и теоретические выводы не противоречат общепринятым представлениям. Поэтому основные положения, выводы и рекомендации, выносимые на защиту, в достаточной степени достоверны и обоснованы.

5. Апробации работы

Результаты проведенных Сыродоем С.В. исследований прошли хорошую апробацию на многочисленных всероссийских и международных конференциях, включая такие знаковые как «Сибирский теплофизический семинар», «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения» и «Теплофизика и физическая гидродинамика». Результаты диссертационного исследования отражены в 51 публикации, в том числе в 26 — в рейтинговых научных изданиях, входящих в Q1 и Q2, индексируемых базами данных Scopus, Web of Science и РИНЦ.

Замечания по диссертационной работе:

1. Достоверность полученных при математическом моделировании результатов обосновывается сравнением с экспериментальными данными, что кажется не совсем достаточным. Хотелось бы видеть сравнение и с результатами моделирования других авторов.
2. Математические модели рассматриваемых процессов представлены в диссертации в одномерной и двумерной постановках. Однако, для создания базовых элементов теории процессов зажигания частиц композиционных топлив (на

что и презентует автор) необходима разработка трехмерных моделей. Возникает вопрос: насколько приведенные в диссертации прогностические модели применимы для реальной практики?

3. Во второй главе диссертант анализирует влияние выбора той или иной кинетической схемы на прогностические оценки времен задержки зажигания. При этом рассмотрены достаточно простые кинетические цепочки, состоящие не более чем из 6 реакций, в то время как схема реагирования, например, водорода состоит более чем из 40 реакций. Возникает вопрос: каков будет результат прогнозирования времен задержки зажигания при учете полной цепочки реагирования?
4. В седьмой главе приведено математическое моделирование процесса теплопередачи от внутритопочной среды к внутритрубному теплоносителю. Процесс нагрева в системе «трубная стенка — слой золы» описывается с использованием приближения Ньютона–Рихмана. При этом не приведено обоснования выбора значений коэффициента теплоотдачи.

Вместе с тем, указанные замечания не носят принципиального характера и не умаляют значимости полученных результатов.

Заключение

В целом, диссертационная работа Сыродоя С.В. представляет собой завершенное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне, которое можно охарактеризовать как крупное научное достижение в области теории процессов тепломассообмена при горении композиционных топлив и создании фундаментальной базы, обеспечивающей повышения эколого- и энергоэффективности использования угольного топлива.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствующие о значительном вкладе автора в науку. Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника». Основные выводы работы следуют из полученных результатов и содержатся в публикациях автора. Автореферат полностью соответствует диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Сыродоя Семена Владимировича «Тепломассоперенос при воспламенении частиц перспективных композиционных топлив на основе угля» по объему выполненных исследований, их качеству, достоверности, научной значимости и новизне полученных результатов соответствует крите-

риям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (ред. от 01.10.2018), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук (01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника»), профессор РАН, доцент, главный научный сотрудник Лаборатории синтеза новых материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

«13» мая 2022 г.

Чернов Андрей Александрович

Адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 1.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.
Сайт: <http://www.itp.nsc.ru>
E-mail: chernov@itp.nsc.ru
Тел.: 8(383)330-93-62

Подпись д.ф.-м.н., проф. РАН, доцента А.А. Чернова удостоверяю:

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, к.ф.-м.н.

___ М.С. Макаров

Поступил в совет 18.05.2022г.
Ученый секретарь ДС Ву Баруш О.В.
С отзывом ознакомлен 19.05.2022
Суровый С.В.