

Отзыв

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

Актуальность выбранной темы диссертационной работы

Проблемы энергетической безопасности, и в этом можно согласиться с автором диссертации, становятся всё более и более острыми даже на относительно малых отрезках времени. Во многом неопределенность в состоянии энергетики всего мирового сообщества (но в первую очередь, конечно, Европы) обусловлено недостаточно фундаментальной проработкой перспектив использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ветрогенераторов, геотермальных и солнечных электростанций). В последнее время появились серьезные проблемы реального использования таких источников электрической энергии. По этим причинам становится очевидным необходимость продолжения использования угля в качестве топлива электростанций, но так как сгорание угля приводит к образованию антропогенных оксидов и летучей золы есть объективная необходимость разработки технологий сжигания угля, обеспечивающих минимальные объемы выбросов антропогенных продуктов сгорания. Решив эту сложную задачу экспериментально (путем перебора большого числа реализаций технических, технологических и рецептурных решений), скорее всего, невозможно, даже при наличии перспективных идей и гипотез. Поэтому математическое моделирование процессов, протекающих на разных стадиях горения углей (в первую очередь на стадии зажигания) вероятно, является основным реальным вариантом анализа закономерностей физических и химических процессов, протекающих при горении углей.

Одним из перспективных вариантов технологий сжигания углей, обеспечивающих минимизацию антропогенных выбросов, являются технология сжигания угля в составе водоугольных топлив (возможны двух, трех и более компонентные суспензии) или в смеси с биомассой разного происхождения (в основном отходы сельскохозяйственных и лесопромышленных производств). Есть достаточно многочисленные экспериментальные данные о позитивном влиянии

добавок воды и биомассы к углям на состав дымовых газов (продуктов сгорания группы углей). Но в настоящее время не существует адекватной математической модели, описывающей сложный комплекс физических и химических процессов, протекающих при горении таких суспензий и смесей. Поэтому объемы опытно-конструкторских работ по созданию технологий сжигания таких композитных топлив (и, соответственно, проектов котельных установок, работающих на таких топливах) очень мало, несмотря большое количество публикаций с результатами различных экспериментов по горению композитных топлив.

Поэтому тема диссертации С.В. Сыродоя, целью которой является разработка основных элементов теории процессов зажигания и горения существенно неоднородных композиционных топлив на основе угля в условиях, соответствующих камерам сгорания котельных агрегатов тепловых электростанций, является актуальной.

Можно также отметить, что по своему содержанию диссертация С.В. Сыродоя соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика», а также перечню критических технологий Российской Федерации «Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе» (утверждены указом Президента РФ №=899 от 07 июля 2011 года).

Общая характеристика диссертации

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 535 наименований и 6 приложений. Рукопись диссертации включает 403 страницы текста, 186 рисунков и 33 таблицы.

Во введении обоснована целесообразность выполнения диссертационного исследования, исходя из существующих задач энергетики и современных требований к технологиям выработки электрической и тепловой энергии. Также во введении представлен краткий анализ поставленных задач, методов их решения, описаны основные результаты полученные автором.

В первой главе приведены результаты выполненного автором анализа современного состояния теории горения композиционных топлив. Показано, что разработанные ранее модели и подходы к решению задач зажигания структурно неоднородных топлив (типичный пример – водоугольные суспензии) являются

следствием очень простой интерпретации физических и химических процессов, протекающих в таких системах на стадии термической подготовке. Наиболее широко используемые упрощения в постановках задач в большинстве случаев приводят к значительному снижению их прогностического потенциала, что достаточно убедительно показано в работе По существу, первая глава посвящена обоснованию целесообразности решения сформулированных инженерных задач с использованием физически обоснованных математических моделей.

Вторая глава посвящена описанию результатов экспериментальных и теоретических исследований процессов зажигания капель водоугольных суспензий. По результатам анализа и обобщения полученных закономерностей сформулирована математическая модель воспламенения частиц водоугольного топлива существенно отличающаяся от известных. Основные отличия заключаются в описании физических и химических процессов, протекающих в капле, а затем в частице (после удаления влаги) топлива, с учетом распределения по пространственным координатам интенсивности физико-химических превращений. Анализ основных закономерностей исследовавшихся процессов выполнен в этой главе на примерах, как одномерных, так и плоских постановок задач. Важно то, что автор решал задачу в сопряженной постановке, учитывающей процессы не только в капле, но и в её малой окрестности, в которой и происходят реакции взаимодействия газообразных продуктов пиролиза угля с кислородом. Следует отметить, что автор разработал для численного решения сформулированных задач соответствующие вычислительные алгоритмы и программное обеспечение, так как существующие коммерческие пакеты подобные задачи решать не могут.

Третья глава посвящена исследованию процессов термической подготовке и непосредственного зажигания частиц древесной биомассы. Последняя в свете современных тенденций стремления к «зеленой» энергетике является, возможно, самым перспективным для многих государств топливом. Важным фактором при оценке энергоэффективности такого топлива является влагосодержание. Также результаты вычислительного эксперимента обосновывают вывод о необходимости анализа процессов термической подготовки частиц древесной биомассы к сжиганию в топках паровых и водогрейных котлов с учетом неоднородности температурных полей частиц

и, соответственно, скоростей физических процессов и химических реакций, протекающих в частицах при их интенсивном нагреве.

В четвертой главе приведены результаты исследований процессов термической подготовки органо-водоугольных и био-водоугольных топлив. Математические модели процессов тепломассопереноса, протекающих в капле таких топлив, более сложны по сравнению с моделями, приведенными во второй и третьих главах, в следствие присутствия в суспензии двух горючих компонентов с разными свойствами. Установлены основные закономерности процессов термической подготовки таких многокомпонентных композиционных топлив и показано перспективность их использования в теплоэнергетике.

Описанию результатов экспериментальных и теоретических исследований процессов зажигания древесно-угольных смесей посвящена пятая глава диссертации. Такие смеси используются в последнее время на нескольких тепловых электростанциях Европы, в связи с их преимуществами по экономическим критериям по сравнению с однородным углем, но нет обоснования эффекта снижения в продуктах сгорания таких смесей массы антропогенных оксидов, по сравнению с процессом горения угля. Автор диссертации предложил математическую модель, которая обеспечивает возможность прогноза основных характеристик процесса термической подготовки таких топлив.

Более подробно физико-химические процессы, приводящие к секвестрованию оксидов серы и азота представлены в шестой главе. Показано влияние влаги, содержащейся в древесине, на процессы подавления этих оксидов в продуктах пиролиза древесно-угольных смесей. Рассмотрен механизм взаимодействия антропогенных оксидов, паров воды и содержащихся в минеральной части угля оксидов металлов. Результаты, приведенные в этой главе, показывают перспективы использования биомассы в качестве добавки к углю, обеспечивающей снижение антропогенной нагрузки угольных электростанций на окружающую среду.

В седьмой главе приведено обоснование практической значимости применения водоугольных суспензий в теплоэнергетике. Автор показал, что при сжигании водоугольных топлив существенно снижаются потери тепла при передачи его от высокотемпературных продуктов сгорания к внутритрубному теплоносителю (вода или пар). Представленный анализ показал, что эффективность сжигания водоугольных топлив может быть существенно выше эффективности сжигания обычных углей. \

В заключении приводятся основные результаты и выводы.

Используемые методы и подходы

В диссертации представлен комплекс теоретических и экспериментальных исследований. Целью экспериментов было установление зависимостей времен задержки зажигания от температуры внешней среды и некоторых других факторов. Эксперименты выполнены с использованием средств высокоскоростной видеорегистрации, что обеспечивает не только высокий уровень достоверности, определения основных закономерностей исследуемых процессов, но также возможность идентификации модели тепломассопереноса в окружающей частицу (или каплю) высокотемпературной среде. Теоретические исследования процессов тепломассопереноса при воспламенении частиц композиционных топлив, выполненных с использованием современных численных методов решений нестационарных и нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Автор разработал группу математических моделей, кардинально отличающихся от известных, в частности, описанием распределенных во времени и в пространстве физических и химических процессов (перенос тепла в результате теплопроводности, конвекции и излучении; испарение влаги, содержащейся в порах; термическое разложение органической части угля и основных компонентов биомассы; химические реакции продуктов пиролиза между собой и с водяными парами; окисление кислородом воздуха летучих и углерода кокса топлива после осушения и пиролиза). Анализ и обобщение результатов выполненных экспериментальных исследований приведены в рамках представлений современной теории тепломассопереноса в гетерогенных средах в условиях интенсивных физико-химических превращений.

Научная новизна полученных результатов

По мнению оппонента наиболее значимыми из полученных в работе результатов них являются следующие:

1. Автором диссертации разработан оригинальный подход к математическому моделированию процессов тепло- и массопереноса, протекающих в период термической подготовки, воспламенению и горения частиц (или капель на начальной стадии) представительной группы композиционных топлив на основе углей.

2. Экспериментально установлены основные закономерности, условия и характеристики термической подготовки и последующего зажигания частиц нескольких вариантов перспективных композиционных топлив.

3. Разработаны математические модели процессов тепло- и массопереноса в частицах и каплях достаточно представительной группы композиционных топлив и в их малой окрестности.

4. По результатам математического моделирования обоснован механизм секвестирования антропогенных оксидов при горении частиц и капель композиционных топлив.

Степень обоснования достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов экспериментов обосновано использованием для регистрации основных характеристик изученных процессов современного сертифицированного оборудования. Математические модели разработанные и исследованные при проведении теоретических исследований, являются математическими интерпретациями фундаментальных законов сохранения массы, импульса и энергии, а также следствием анализа и обобщения результатов выполненных автором экспериментальных исследований. В работе использовались достаточно апробированные при решении сложных нелинейных задач теплопереноса численные методы. Разработанные автором методики численного моделирования прошли верификацию на большой выборке экспериментальных данных.

Практическая значимость

По мнению оппонента, диссертация С.В. Сыродоя имеет и важное практическое значение. В настоящее время на многих электростанциях государств мирового сообщества предпринимаются попытки использования вместо угля композиционных топлив на его основе. Но пока можно говорить о немногочисленных примерах таких удачных замен. В основном это обусловлено отсутствием научной базы для проведения опытно-конструкторских работ по созданию технологий сжигания композиционных топлив в топках паровых и водогрейных котлов. Разработанные в работе математические модели и методы решений соответствующих задач является научным основанием проектирования и конструирования котельных агрегатов, работающих на композиционных топливах основной компонентой которой является уголь. Важно, что

разработанный автором математический аппарат и программное обеспечение для анализа процессов сжигания композиционных топлив могут быть применены в широких диапазонах изменения материалов и веществ, использующихся в качестве второй и третьей компоненты таких топлив, размеров капель и частиц, их концентраций, условий сжигания и свойства топочных газов.

Замечания по диссертации

1. Разработанные автором модели и методы решения задач слишком громоздки для использования в практике опытно-конструкторских работ. Остается открытым вопрос о времени которое затрачивает инженер на выбор конструктивной схемы и параметров процессов топливосжигания.

2. Большая часть результатов экспериментальных и теоретических исследований полученных для размера частиц или капель 2 мм и более (например, рисунки 4.2-4.9 на странице 226). Времена задержки зажигания таких крупных капель и частиц составляет от 2 с до 26 с для типичных топливных композиций. Сложно представить реальную топку котельного агрегата, в которой капля композиционного топлива левитирует до зажигания, даже не 20-25 с, а хотя бы 10-15 с.

3. Группа иллюстраций (например, рисунок 6.3.4) выполнены так, что их анализ не только затруднен, в ряде случаев он почти невозможен. На упомянутом рисунке 6.3.4 отличить линий постоянной концентрации паров воды и паров азотной кислоты очень непросто. Также численные значения концентраций компонент на нескольких рисунках (например, 6.2.3) не возможно прочесть.

Приведенные замечания не снижают в целом оценки значимости результатов, защищаемых положений и выводов, приведенных в диссертации С.В. Сыродоя.

На основании анализа содержания текста и автореферата диссертации С.В. Сыродоя можно сделать обоснованное заключение, что рецензируемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение. Автореферат полностью соответствует тексту диссертации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Считаю, что диссертационная работа Сыродоя Семена Владимировича «Тепломассоперенос при воспламенении частиц перспективных композиционных топлив на основе угля», соответствует критериям, 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, профессор, доктор технических наук (05.07.11 — «Тепловые режимы летательных аппаратов»), профессор кафедры «Космические системы и ракетостроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва.


Ненарокомов Алексей Владимирович

Дата «5» мая 2022 г.

Адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4., федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Сайт: <https://mai.ru/> E-mail: aleksey.nenarokomov@mai.ru Тел.: 8(499)158-47-56

Подпись профессора, д.т.н., профессора
кафедры «Космические системы и
ракетостроение» А.В.Ненарокова
заверяю:

Начальник отдела кадров ФГБОУ В
МАИ


Носова Ольга
Васильевна

Дата « 5 » мая 2022 г.

*Поступил в совет 16.05.2022 г.
Генеральный секретарь ДС Ву Иваница О.В.*

*Сотзывает ознакомлен 19.05.2022
Сыродой С.В. 8*