

ОТЗЫВ

официального оппонента 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

Диссертационная работа Сыродоя С.В. посвящена численно-экспериментальному исследованию тепломассопереноса при воспламенении частиц перспективных композитных топлив на основе угля. Разрабатываются и обосновываются математические модели процесса горения структурно – неоднородных топливных смесей, обеспечивающих высокий уровень прогнозов основных характеристик этого процесса (время задержки зажигания, температура воспламенения). Выполняются систематические экспериментальные исследования для обширной группы топливных композитов: капля (на начальном этапе термической подготовки) – частицы (после подсушивания приповерхностного слоя топлива) водоугольной суспензии; аналогично, капля – частица систем уголь/биомасса – вода и уголь/нефтепродукты – вода; частицы смесевое топлива уголь/биомасса; частица древесины. Теоретические разработки акцентируют внимание на двух системах: «частица топлива (водоугольного, био – водоугольного, органико – водоугольного, биомасса) – высокотемпературный окислитель»; «частиц угля – частица биомассы – окислитель». Работа согласуется с Перечнем основных направлений технологической модернизации РФ (1. Энергоэффективность и энергосбережение, в том числе вопросы разработки новых видов топлива). Проблематика диссертации находится в русле приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ (8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика) и связана с разработкой критических технологий РФ (27. Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе). Следует отметить, что исследования поддержаны грантами РФФИ и РНФ, а сама работа выполнена в пользующейся мировой известностью научной школе профессора Кузнецова Г.В. Несомненно, данная диссертационная работа является **актуальной**.

Научная новизна работы представляется очевидной и обоснованной. Из заявленных пунктов Оппоненту представляются важными следующие.

1. Впервые сформулирована и решена группа задач зажигания частиц существенно неоднородных водоугольных топлив при интенсивном радиационно–конвективном нагреве (внутритопочное пространство) в условиях совместного протекания основных процессов термической подготовки. Показано, что такой подход позволяет достичь высокого уровня достоверности прогностических оценок основных характеристик процесса горения.
2. Впервые сформулирована и решена задача зажигания частицы влажной древесной биомассы в условиях фрагментации приповерхностного слоя. Показано, что увеличение площади поверхности частицы на 30% приводит к существенному уменьшению (на 40%) значений времени задержки зажигания.
3. Показано, что в идентичных условиях нагрева частицы биомассы воспламеняются всегда быстрее (на 50%) угольных.

4. По результатам прогностического моделирования установлено, что для стабильного воспламенения частиц водоугольных топлив температура внешней среды должна быть не менее 750К.
5. По результатам прогностического моделирования впервые обоснован механизм секвестрования оксидов серы и азота в период термической подготовки зажигания и горения частиц древесно – угольной смеси в условиях, соответствующих камерам сгорания котельных агрегатов. Показано, что в условиях совместного сжигания угля и биомассы при влажности последней $\geq 5\%$ интенсивность формирования оксидов серы и азота снижается в 6 раз и в 3 раза соответственно, по сравнению с процессами горения однородного угля.
6. Впервые по результатам сравнительного анализа результатов численного моделирования процессов теплопереноса в системе «внутритопочная среда – трубная стенка – внутритрубный теплоноситель» установлено, что эффективность теплопередачи в топочном устройстве при сжигании водоугольного топлива в 2 раза выше, чем при горении однородного угля.

Практическая значимость работы прежде всего состоит в обосновании превосходства водоугольных котельных агрегатов по сравнению с пылеугольными даже при более низких температурах топочной среды. При работе котла на длительном периоде времени коэффициент использования теплоты сгорания у водоугольных котлов выше, чем в пылеугольных за счет того, что при сжигании угольного топлива на поверхности труб паропегревателей формируются золовые отложения, существенно ухудшающие условия теплопередачи. В случае сжигания водно-угольного топлива таких отложений образуется намного меньше. В работе имеются два акта о внедрении результатов в промышленность. Кроме того, взяты 11 свидетельств на программы ЭВМ.

Апробация работы великолепная и впечатляющая. По теме диссертации опубликовано 70 работ (по нумерации диссера [151 – 191]), в том числе 14 статей в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий. Это Физика горения и взрыва (переводная версия Combustion, Explosion and Shock Waves) [178 – 182]; Теплофизика и Аэромеханика (переводная версия Thermophysics and Aeromechanics) [183 – 187]; Химия твердого топлива (переводная версия Solid Fuel Chemistry) [188 – 190]; Теплоэнергетика (переводная версия Thermal Engineering) [191]; 11 свидетельств о регистрации программы для электронных вычислительных машин; 26 статей в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных Scopus и/или Web of Science (Combustion and Flame [151, 152]; Energy [153 – 156]; Fuel [157, 158]; Applied Thermal Engineering [159, 160]; Renewable Energy [161, 162]; Fuel Processing Technology [163]; Journal of Environmental Chemical Engineering [164]; Energy Reports [165]; Journal of the Energy Institute [166 – 170]; Energy & Fuels [171, 172]; Combustion Science and Technology [173 – 176]; Thermal Science and Engineering Progress [177]; 19 статей в прочих журналах, материалах всероссийских и международных конференций.

Структура и объем работы. В текст диссертации входят введение, семь глав, заключение, шесть приложений и список литературы из 535 наименований.

Первая глава отражает современное состояние теории и практики процессов термической подготовки, зажигания и горения существенно неоднородных и многофазных топливных композитов на основе угля: водоугольные, био– и органо–водоугольные а также древесно – угольные топлива. Во второй главе приведены результаты численного моделирования процессов тепло – и массопереноса, протекающих в период индукции частицы водоугольного топлива. Третья глава содержит основные результаты анализа процессов зажигания частиц влажной древесной

биомассы в условиях, соответствующих камерам сгорания котельных агрегатов ТЭС. Четвертая глава посвящена описанию результатов теоретических и экспериментальных исследований процессов зажигания и горения частиц многокомпонентных суспензионных топлив на основе угля: био – водоугольные композиции и органико – водоугольные топлива в условиях их высокотемпературного радиационно – конвективного нагрева. В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований и математического моделирования процессов совместного воспламенения частиц угля и биомассы в высокотемпературной окислительной среде. Шестая глава посвящена теоретическому описанию процессов секвестрования оксидов серы и азота при воспламенении и горении частиц древесно – угольного смешанного топлива по сравнению с горением однородного угля. В седьмой главе обоснована экономическая эффективность сжигания водоугольного топлива по сравнению с однородным углем.

Работа, безусловно, выдающаяся для диссертаций по специальности 01.04.14. И имеющая огромное значение в свете происходящего сейчас краха мировой «зеленой повестки». Актуальность водно-углеродного топлива сегодня несомненна, поскольку оно является многообещающим с экологической точки зрения. Новизна работы блестяще обоснована. Автор глубоко и всесторонне разобрался с ансамблем определяющих процессов и нашел для них приемлемую математическую интерпретацию. Украшает работу сравнение численных прогнозов с полученными автором экспериментальными данными. Диссертация плотно сбита, все ее части хорошо обусловлены. Общее впечатление от диссертации Сыродоя С.В. превосходное.

По представленной диссертационной работе, конечно, имеется ряд вопросов и замечаний, хотя серьезных замечаний у Оппонента нет.

- 1. Работа производит сильное впечатление объемом и проработкой деталей. Однако трехмерные задачи не решаются. Программная реализация алгоритмов численного решения сформулированных краевых задач выполнена в пакете прикладных программ MATLAB с использованием разработанных оригинальных программных кодов. Таким образом суперкомпьютерные технологии не рассматриваются, так?**
- 2. Весь анализ построен на однородных частицах одного размера и физических свойств. А если допустить разброс определяющих характеристик?**
- 3. Использован метод конечных разностей решения дифференциальных уравнений в частных производных. А почему не метод конечных объемов как в большинстве пакетов?**
- 4. Неопределенность экспериментальных данных продемонстрирована, а вот оценок неопределенности расчетных прогнозов Оппонент не увидел.**
- 5. Как сочетается двумерная модель с рассмотрением пространственных форм частиц в 5 и 6 главах?**
- 6. Показано, что существует некоторое оптимальное (по условиям зажигания) расстояние между частицами топлива. А какова его физическая причина?**
- 7. Отмечается экспоненциальный рост температуры в системе «частица водно-углеродного топлива – окислитель». А чем заканчивается быстропротекающий процесс, имеющий взрывной характер?**
- 8. В постановке задачи хотелось бы детализировать понятие пограничного слоя особенно при отсутствии внешнего потока. Скорости парогазовой смеси в пограничном слое топливной частицы рассчитывается из решения системы**

уравнений движения, записанной в переменных «функция тока – вихрь». Не увидел вихря и функции тока в начальных условиях.

9. Интересно, а какие формы реально имеют древесные частицы?

10. На стр.28 автореферата отмечается, что при $T_g=873K$ зависимость $t_{ign}(d)$ параболическая. Тут наверное ошибка. Вместо d должно быть L .

11. Отмечается, что тепло от газовой среды к теплоносителю передается через трубную стенку и постоянно увеличивающийся слой золовых отложений. А насколько справедливо допущение о равномерном осаждении золы?

Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием, представляющим крупный вклад в актуальный раздел теплофизики, связанный с разработкой фундаментальных основ «чистых угольных технологий». Диссертация С.В. Сыродоя «Тепломассоперенос при воспламенении частиц перспективных композиционных топлив на основе угля» безусловно удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК России к докторским диссертациям, в том числе соответствует п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018), а Сыродой Семен Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заведующий лабораторией
фундаментальных исследований
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет гражданской
авиации», д.ф.-м.н., проф.

 Исаев
Сергей Александрович

«11» мая 2022 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»

Адрес организации: 196210, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38

тел: 8 (812) 704-18-18

e-mail: isaev3612@yandex.ru

Подпись профессора Исаева С.А. удостоверяю

Проректор по науке и цифровизации

*Юстиция в совет 17.05.2022г.
Учёный секретарь ДС [подпись]*

С отзвом ознакомлен 19.05.2022

[подпись] Сыродой С.В.