ОТЗЫВ

официального оппонента Палецкого Александра Анатольевича на диссертацию Егорова Романа Игоревича «Термическое разложение отходов углеобогащения и низкокалорийных топлив при нагреве световым потоком высокой интенсивности», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

1. Актуальность темы диссертационной работы Егорова Р.И. связана с проблемой разработки эффективных и дешевых методов утилизации и переработки отходов обогащения каменных углей, а также низкокалорийных ископаемых топлив (торф и бурый уголь). Данные топлива выступают в качестве основного горючего компонента водоугольных суспензий, которые предлагается сжигать в присутствии примесей или пиролизовать в условиях экстремального нагрева от стороннего источника. Использование суспензионных смесевых топлив представляет практический интерес как метод утилизации отходов обогащения каменных углей, чья добыча за последнее время растет как в России, так и в мире. Смеси, приготовленные из отходов, бурых углей или торфов, могут послужить дешевым источником тепловой энергии для промышленных потребителей и населения.

Использование низкокалорийных и высокосолевых топливных композиций сопряжено со сложностями выбора эффективных методов зажигания и поддержания их горения. Традиционно, одним из достаточно эффективных путей при работе с низкокалорийными топливами является их газификация, продукты которой могут служить источником тепла и выступать сырьем для различных технологий химического синтеза. Однако методы газификации, освоенные промышленностью, требуют для достижения высокой эффективности использования высококачественного сырья и довольно плохо работают с низкокалорийным топливом. Предложенный в работе подход с использованием солнечного света в качестве непосредственного источника нагрева может послужить в качестве перспективного инструмента улучшения экологической ситуации в регионах с многолетней историей угледобычи.

2. Новизна результатов исследования состоит в следующем:

1. На базе результатов экспериментальных работ был сформулирован подход, позволивший выявить основные физические закономерности процесса пиролиза водо-угольных суспензий, приготовленных на основе отходов обогащения каменных углей, под действием мощного потока светового излучения. Были проанализированы зависимости протекания процесса от ряда ключевых параметров системы, определены их пороговые значения, выявлены взаимосвязи свойств топлива и состава продуктов пиролиза.

2. Показан эффект применения неорганических примесей (порошки алюминия, железа, мела), позволивший улучшить удельную энергетику топливных смесей, а также снизить содержание оксидов серы и азота в составе газообразных продуктов сгорания.

3. Получены основные закономерности окисления отходов обогащения каменных углей, торфа и бурого угля в составе водных суспензий под действием радиационного нагрева высокой интенсивности (более 300 Вт/см²).

Новизна и актуальность исследований подтверждены рядом публикаций в высокорейтинговых журналах. Работы соискателя по теме диссертационного исследования опубликованы в научных журналах из первого и второго квартиля международных рейтинговых баз Scopus и Web of Science.

3. Практическая значимость полученных результатов, представленных в работе, состоит в физическом обосновании подхода к термической утилизации отходов обогащения каменных углей с использованием сфокусированного потока света. Использование представленных в диссертационном исследовании результатов открывает путь к проектированию систем утилизации отходов, работающих за счет солнечного света.

Был обоснован существенный экологический и энергетический эффект от добавления неорганических примесей в состав водо-угольных суспензий, приготовленных из отходов обогащения углей.

Адаптированная соискателем математическая модель позволяет исследовать особенности процесса пиролиза топлива под действием мощного светового потока, которые сложно оценить на основе экспериментальных данных. Несмотря на свою простоту, модель позволяет проанализировать режимы переработки отходов, спрогнозировать динамику процесса в различных условиях и выбрать наиболее удобные для практического использования варианты.

4. Обоснованность и достоверность научных выводов, положений и рекомендаций основана на результатах анализа широкого спектра экспериментальных данных и математического моделирования. Результаты экспериментов, проводившихся с использованием современной измерительной аппаратуры высокого класса, показали хорошую сходимость с результатами моделирования.

Основные выводы и результаты работы теоретически обоснованы и согласуются с ранее опубликованными в научной литературе данными.

Публикации результатов исследований в высокорейтинговых журналах позволяют сделать вывод об их признании мировым научным сообществом и, следовательно, о высокой степени достоверности научных положений и заключений диссертационной работы. Публикации полностью отражают содержание диссертационной работы.

5. Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа Егорова Р.И. состоит из введения, семи глав, заключения и приложений. Полный объем работы составляет 265 страниц, включая 91 рисунок и 9 таблиц. Список процитированной литературы содержит 207 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и основные задачи, выделены новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен обзор литературных источников по теме исследования, проанализированы свойства объектов исследования (отходы обогащения углей, торфы, бурые угли). Рассмотрены достоинства и

недостатки основных методов, применяемых для утилизации мелкодисперсных отходов углеобогащения и получения из них тепловой энергии. Также рассмотрены особенности наиболее популярных методик использования низкокалорийных ископаемых топлив. Определены слабо изученные области, отмечены факторы, чье влияние требует прояснения для полноценного решения поставленных в диссертационной работе задач.

Во второй главе детально описаны использованные в работе методы исследования процессов зажигания, горения и пиролиза водо-угольных смесей. Детально описана структура математической модели процесса газификации топливных смесей, а также использованные числовые параметры и исходные данные.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований распыления водо-угольных смесей, приготовленных на основе мелкодисперсных отходов обогащения каменного угля. Показаны особенности процесса лазерного распыления в сравнении с традиционными подходами, с использованием механических форсунок. Выяснено влияние влажности суспензии на эффективность лазерного распыления.

Было показано, что при интенсивности лазерного излучения более 8 Дж/см^2 кроме распыления суспензии происходит пиролиз топлива.

В четвертой главе исследованы особенности зажигания и горения водо-угольных суспензий, приготовленных с добавлением небольшого количества порошков алюминия, железа, меди и мела. Порошок алюминия позволяет повысить температуру горения на $100\text{-}300$ градусов вместе с повышением ее устойчивости к изменениям температуры окружающей среды. Добавление мела позволяет существенно сократить производство диоксида серы в широком диапазоне температур. Показаны различия эффективности конвективного и радиационного механизмов теплопередачи при зажигании водо-угольных суспензий.

В пятой главе исследован процесс пиролиза топливных суспензий, приготовленных из отходов обогащения углей, а также торфа и бурого угля под действием мощного светового потока. Наглядно продемонстрированы порог абляции топливной суспензии, а также пороговое значение

интенсивности непрерывного светового потока, превышение которого приводит к запуску пиролиза топлива. Показано, что при достаточной влажности, смеси, приготовленные на основе отходов обогащения каменных углей, позволяют получать пиролизный газ, не содержащий значимых концентраций CO_2 .

В шестой главе представлены результаты математического моделирования процесса пиролиза топливной суспензии под действием светового потока высокой интенсивности. Проанализированы пространственные распределения температуры, влажности суспензии, концентрации не связанного углерода в объеме порции топлива и их эволюция в ходе процесса пиролиза. Объяснено появление CO_2 в составе продуктов пиролиза за счет запуска окисления углерода в прогретых вследствие теплопроводности топлива неосвещенных областях, примыкающих к зоне светового нагрева.

В седьмой главе рассмотрены предлагаемые автором варианты практического применения представленных в работе результатов, дана оценка экономического эффекта применения суспензий на основе отходов обогащения угля вместо энергетических углей.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В трех приложениях представлены результаты использования основных результатов работы в учебном процессе, проводимых в ТПУ НИР, а также в промышленном применении.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и полностью отражает основные научные и прикладные результаты диссертационного исследования.

Автореферат и текст диссертации хорошо структурированы, логично изложены и объединены решением поставленной проблемы.

6. Замечания по диссертационной работе

1. Чем объясняется значительная разница в требуемых интенсивностях светового потока для пиролиза суспензий, приготовленных из отходов обогащения каменного угля, торфа и бурого угля.
2. При вычислении удельных затрат энергии на пиролиз топливных суспензий автор масштабировал результаты, полученные с порциями массой порядка грамма на килограммовые порции. Какова точность таких оценок?
3. Результаты моделирования показывают, что выгорание углерода на оси порции топлива происходит примерно через 30 с нагрева. При этом характерная температура продолжает расти. Как это можно объяснить?
4. На стр.167, Рис. 5.5 приведены значения затраченной энергии лазерного излучения на производство 1 кг генераторного газа. Как соотносятся затраченная энергия с теплотой, которую можно получить из 1 кг генераторного газа? Насколько это экономично?
5. Как связано горение одной частицы/капли с коллективом частиц/капель? Есть ли переводной коэффициент при переходе от результатов для одного малого объекта исследования на группу?
6. Замечания по оформлению. Опечатка на Рис. 6.1.а, стр.207 - надо μm вместо мм; опечатка – на стр.113, Рис.3.14. - все размеры 2.5 мм. В оглавлении работы название Главы 5 отпечатано стилем, отличным от остальных глав.

Указанные замечания не являются принципиальными и не влияют на значимость полученных результатов.

7. Заключение о соответствии диссертации паспорту специальности и критериям, Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертационная работа Егорова Романа Игоревича «Термическое разложение отходов углеобогащения и низкокалорийных топлив при нагреве световым потоком высокой интенсивности» является завершенной научной работой и по содержанию соответствует следующим пунктам

паспорта специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества:

1. Поведение веществ и структурно-фазовые переходы в экстремальных условиях – в электрических и магнитных полях, в условиях статического и динамического сжатия, в полях лазерного излучения, в плазме и в гравитационных полях, при сверхнизких температурах и в других условиях.

4. Закономерности и механизмы распространения, структура, параметры и устойчивость волн горения, детонации, взрывных и ударных волн; связь химической и физической природы веществ и систем с их термохимическими параметрами, характеристиками термического разложения, горения, взрывчатого превращения; термодинамика, термохимия и макрокинетика процессов горения и взрывчатого превращения;

5. Процессы аналоги горения, детонации и взрыва; взаимодействие волн горения и взрывчатого превращения со средой, объектами и веществами; явления, порождаемые горением и взрывчатым превращением; процессы горения и взрывчатого превращения в устройствах и аппаратах для производства энергии, работы, получения веществ и продуктов; управление процессами горения и взрывчатого превращения.

Тема работы является актуальной, а представленные результаты в достаточной степени обладают научной новизной и практической значимостью. Решенные в работе задачи позволяют заключить о достижении поставленной цели исследования, а представленные результаты формируют новое крупное научное направление в рамках физики горения.

Работа в полном объеме отвечает требованиям пп. 2.1, 2.2 «Порядка присуждения ученых степеней в Томском политехническом университете», предъявляемым к докторским диссертациям, а также критериям, которые установлены «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Автор работы, Егоров Роман Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности