

ОТЗЫВ

официального оппонента Кичатова Бориса Викторовича 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».

Актуальность темы работы

Диссертационная работа Егорова Р.И. посвящена изучению процессов, протекающих в водных топливных суспензиях, приготовленных из отходов обогащения каменных углей, а также широко распространенных низкокалорийных ископаемых топлив (торф и бурый уголь) в условиях экстремального нагрева от стороннего источника. Использование таких смесевых топлив представляет интерес, в первую очередь, как метод утилизации накопленных и производимых в настоящее время отходов обогащения углей. С другой стороны, в условиях дефицита традиционных промышленных топлив, смеси, приготовленные из отходов и мало востребованных ископаемых, могут послужить дешевым источником тепловой энергии для широкой номенклатуры потребителей.

Основной проблемой при использовании таких топливных смесей является выбор эффективных подходов для инициации зажигания и поддержания горения низкокалорийной и высокосольной топливной массы. Использование методов термохимической конверсии позволяет повысить общую эффективность сжигания смесевого топлива, однако, самые популярные промышленные методы (Лурги, газификация в пылевом облаке) демонстрируют достаточно низкую эффективность при работе с низкокалорийным

топливом. Решение проблемы дешевой переработки отходов углеобогащения и низкокалорийных ископаемых топлив является **актуальной** задачей на сегодняшний день, а разработка эффективных методик переработки отходов с применением энергии солнечного света не потеряет актуальности в обозримой перспективе.

Новизна исследования и полученных результатов

К наиболее значимым результатам диссертационной работы, определяющим ее научную новизну, на мой взгляд, можно отнести следующие:

1. Разработан подход, позволивший экспериментально исследовать комплекс процессов, протекающих при взаимодействии мощного светового излучения с водо-угольной суспензией (включая распыление суспензии и ее пиролиз). Были исследованы фундаментальные основы наблюдаемых явлений, проанализирован ряд основных зависимостей, показаны границы применимости подхода.
2. Продемонстрирована потенциально высокая эффективность применения особого типа примесей (мелкодисперсные порошки алюминия, железа, мела) для улучшения свойств топливных смесей, приготовленных из отходов. Показан рост как энергетических, так и экологических показателей смесевоего топлива с примесями, установлены основные закономерности горения таких топлив.
3. Получены новые данные, дающие новые представления об основных закономерностях протекания окислительных процессов в водо-топливных суспензиях под действием потоков излучения высокой интенсивности (до 1000 Вт/см^2).

Новизна и актуальность исследований подтверждается большим числом публикаций в высокорейтинговых научных журналах.

Большая часть работ соискателя по теме диссертационного исследования (порядка 20), опубликованы в научных журналах из первого и второго квартиля международных рейтинговых баз Scopus и Web of Science.

Практическая значимость полученных результатов

Практическая значимость, представленных в работе результатов состоит в формулировке основных контуров подхода к переработке низкокалорийных топливных суспензий (в первую очередь, приготовленных из отходов углеобогащения) с использованием сфокусированного солнечного света для максимально интенсивного нагрева.

Были проанализированы экологический и энергетический эффект от добавления неорганических примесей в процессе зажигания и горения суспензий. Показан стабильный рост температуры горения суспензии при добавлении малого количества порошка алюминия с некоторым ростом времен задержки зажигания. Представленная математическая модель процесса пиролиза топлива под действием мощного светового потока, несмотря на свою упрощенность, дает возможность выбрать наиболее эффективные режимы переработки отходов и прогнозировать динамику газогенерации в различных условиях.

Представленные в работе методики и ряд результатов применялись в серии НИР, проводимых в ТПУ, а также используются в учебном процессе для студентов теплоэнергетических специальностей.

Обоснованность и достоверность научных выводов, положений и рекомендаций

Основные выводы, а также положения, выносимые на защиту вместе с рекомендациями по практическому использованию

основных результатов, опираются на массив экспериментальных данных, полученных в тщательно выполненных экспериментах и, в ряде случаев, подтвержденных результатами математического моделирования.

Основные выводы и результаты работы тщательно проанализированы, теоретически обоснованы и согласуются с результатами, ранее опубликованными в научной литературе.

Публикации результатов исследований в журналах с высокими индексами цитирования позволяют сделать вывод о высокой степени достоверности научных положений, выводов и заключений диссертационной работы. Публикации полностью отражают содержание диссертационной работы.

Анализ содержания диссертации

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

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

В первой главе проведен анализ литературных источников, включая зарубежные, представлен обзор свойств объектов исследования (отходы обогащения углей, торфы, бурые угли). Рассмотрены основные методики, применяемые в настоящее время для утилизации мелкодисперсных отходов углеобогащения, получения из них тепловой энергии, а также наиболее популярные методики использования низкокалорийных ископаемых топлив. Обозначены достоинства различных используемых и перспективных методов термохимической переработки данных типов горючего сырья. Определены слабо изученные факторы, процессы, режимы,

которые требуют прояснения для решения поставленных в диссертационной работе задач.

Во второй главе описаны использованные методы исследования процессов зажигания, горения и пиролиза топливных смесей, рассмотрены конструктивные особенности стендов, а также описана структура математической модели процесса газификации ВУС и применяемые в расчетах исходные данные.

Наибольший интерес представляют предложенные автором методы распыления и пиролиза топливных суспензий под действием мощного светового потока, реализованные в варианте настольного стенда. Применение разнообразных современных методик регистрации параметров протекающих процессов позволяет обобщить полученные результаты на достаточно высоком уровне.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований зажигания водо-угольных суспензий, приготовленных на основе фильтр-кека каменного угля. Показано влияние температуры и размера порции топлива на время задержки зажигания. Проанализированы особенности сверхтонкого распыления ВУС при воздействии мощных лазерных импульсов, а также потенциал данного подхода в сравнении с распылением при помощи разных механических форсунок. Рассмотрено влияние влажности суспензии на фракционный состав получаемого аэрозоля и эффективность лазерного распыления.

Было показано, что с ростом интенсивности лазерного излучения (свыше 8 Дж/см^2), процесс распыления суспензии преимущественно замещается ее пиролизом в ходе которого доминирует выработка монооксида углерода.

В четвертой главе исследованы особенности горения водо-угольных суспензий, модифицированных с использованием порошков алюминия, железа, меди и мела. Добавление в состав топливной

смеси менее 5 мас.% порошка алюминия (ПАП-2) приводит к небольшому росту времени задержки зажигания. Однако, в дальнейшем данная примесь повышает температуру горения на 100-300 градусов и повышает ее стабильность при колебаниях температуры окружающей среды. Использование мела позволяет существенно сократить производство диоксида серы в широком диапазоне температур топki. Таким образом, в данной главе предложен эффективный подход к повышению энергетических и экологических показателей топливных суспензий, приготовленных из мелкодисперсных отходов обогащения каменных углей.

В пятой главе исследован процесс пиролиза топливных суспензий, приготовленных из отходов обогащения каменных углей, а также торфа и бурого угля под действием потока лазерных импульсов большой мощности, а также непрерывного светового потока высокой интенсивности. Показано влияние химического состава твердой части суспензии на протекание термохимических процессов газификации топлива. Суспензии, приготовленные на основе фильтр-кека позволяют получать генераторный газ, не содержащий значимых концентраций CO_2 . В то же время, продукты пиролиза суспензий, приготовленных из торфа или бурого угля, обязательно содержат диоксид углерода. Влияние состава топливной смеси, ее влажности, а также интенсивности нагрева на состав пиролизных газов, скорость протекания процесса и уровень затрат энергии были проанализированы, используя результаты большой серии экспериментов.

В шестой главе проведено моделирование пиролиза топливной суспензии под действием мощного светового потока. Проанализированы особенности пространственных распределений температуры, влажности суспензии, концентрации не связанного углерода в объеме порции топлива в ходе процесса пиролиза. Одним

из важнейших результатов данной главы стало объяснение особенностей газогенерации, в частности, появления CO_2 в составе продуктов пиролиза за счет окисления углерода в неосвещенных областях с меньшей температурой, прилежащих к зоне непосредственного светового нагрева.

В седьмой главе рассмотрены возможные пути практического применения результатов, представленных в работе, а также дана оценка экономического эффекта применения водо-угольных суспензий, приготовленных на основе отходов обогащения угля, вместо энергетических углей.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В приложениях представлены результаты практического использования разработанных положений и принципов переработки отходов обогащения углей и низкокалорийных ископаемых топлив, использования результатов диссертационного исследования в учебном процессе, и проводимых в ТПУ НИР.

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

Аннотация и текст диссертации хорошо структурированы, логично изложены и обладают внутренним единством.

Замечания по диссертационной работе

Можно отметить некоторые недостатки работы:

1. В работе не дано обоснования выбора конкретного типа отходов обогащения (фильтр-кек каменного угля марки «Г») в качестве основного компонента водо-угольных суспензий.
2. В главе 3, при сопоставлении параметров топливного аэрозоля, получаемого с помощью предложенного в работе лазерного распыления и с помощью механических форсунок,

автор использует только данные из своих референсных экспериментов. На мой взгляд, сравнивать имеет смысл с наиболее популярными промышленными системами распыления подобных топлив.

3. Используемый в разделе 4.2.1 квази-Аррениусовский формализм, в частности обобщенная энергия активации для описания энергетического порога зажигания топливных суспензий с различными примесями, выглядел бы более завершенным, если бы автор привел соответствующие пред-экспоненты.
4. Автор уделил достаточно мало времени описанию особенностей взаимодействия света с веществом суспензии. Утверждение о том, что измеренный коэффициент отражения достаточно полно характеризует уровень потерь световой энергии на протяжении всего процесса нуждается в более детальном пояснении.

Указанные замечания не являются принципиальными, хотя их учет мог бы улучшить понимание и значимость полученных результатов и общее впечатление от знакомства с работой.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертационная работа Егорова Романа Игоревича «Термическое разложение отходов углеобогащения и низкокалорийных топлив при нагреве световым потоком высокой интенсивности» является самостоятельной законченной работой и по своему содержанию и представленным результатам соответствует пунктам 1, 4 и 5 паспорта специальности 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества», а именно:

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.

Тематика работы безусловно актуальна, представленные результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Задачи, решенные в работе, объединены общей оригинальной научной идеей, а представленные результаты можно квалифицировать как новое крупное научное достижение в развитии физики горения. Совокупность полученных в работе результатов и выводов углубляет фундаментальные знания о процессах термического разложения низкокалорийных смесевых топлив.

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 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

Даю свое согласие на обработку персональных данных и включение их в аттестационное дело Егорова Роман Игоревича.

Официальный оппонент, Кичатов Борис Викторович, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник лаборатории активных коллоидных систем Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, доктор технических наук (01.04.14).

20.09.2023 г.



Кичатов Борис Викторович

Почтовый адрес:

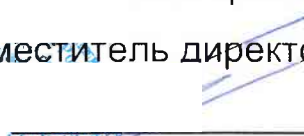
119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53

Адрес электронной почты: b9682563@yandex.ru

Подпись д.т.н. Кичатова Б.В. заверяю:

ученый секретарь, заместитель директора по научной работе

к.ф.-м.н.



/Колобов А.В./

Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук.

Юридический адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53

Тел. 8 (499) 132-65-54

office@lebedev.ru <https://www.lebedev.ru/>