

ОТЗЫВ

официального оппонента Тугова Андрея Николаевича 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 работы

В диссертационной работе рассматриваются различные методы высокотемпературной утилизации водных топливных суспензий, приготовленных из отходов обогащения каменных углей, а также термохимической переработки суспензий, приготовленных из торфа и бурого угля в условиях экстремального нагрева. Развитие подходов к утилизации отходов обогащения углей уже более полувека является актуальной задачей для научного сообщества вследствие очевидного ускорения производства отходов из-за роста угледобычи и переработки.

Используемые сейчас промышленные методы термохимической конверсии углей недостаточно эффективны, когда в качестве сырья выступают топлива, обладающие низкой теплотой сгорания и высокой зольностью. Поиск дешевых и простых подходов, позволяющих повысить эффективность их использования является одним из самых востребованных направлений исследований как в России, так и в мире. Разработка физических основ новых подходов, позволяющих осуществлять дешевую утилизацию отходов углеобогащения и переработку ископаемых топлив с низкой теплотой сгорания, является **актуальной** задачей науки в настоящее время.

2. 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 объяснена актуальность темы диссертационной работы, задана цель и сформулированы основные задачи, а также выделены новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен обзор новых и ставших уже классическими публикаций в области исследования, обобщены свойства объектов исследования, описаны самые популярные методы утилизации мелкодисперсных отходов углеобогащения, освоенные к настоящему моменту. Детально проанализированы плюсы и минусы различных применяемых и перспективных методов термической переработки горючего сырья. Определены факторы, процессы и режимы, которые должны быть исследованы для решения поставленных в диссертационной работе задач.

Во второй главе описаны методы исследования процессов высокотемпературной конверсии топливных смесей, примененные в работе, представлены схемы использованных стендов, а также описана математическая модель процесса пиролиза водо-угольных суспензий и исходные данные, примененные в ходе моделирования.

В третьей главе представлено экспериментальное исследование основных закономерностей распыления водо-угольных суспензий, приготовленных на основе мелкодисперсных отходов обогащения каменного угля под действием наносекундных лазерных импульсов. Результаты применения данного подхода сопоставлены с результатами использования традиционной методики распыления при помощи механических форсунок.

Показано, что при интенсивности лазерного излучения менее 8 Дж/см² доминирует процесс распыления суспензии, а при более высоких

значениях происходит частичный пиролиз ее горючей части, в ходе которого образуется преимущественно СО.

В четвертой главе исследованы закономерности зажигания и горения водо-угольных суспензий, приготовленных с добавлением малых количеств порошков алюминия, железа, меди и мела. Рассмотрены основные энергетические и экологические индикаторы данного подхода при использовании различных механизмов теплопередачи при нагреве топливной суспензии.

В пятой главе описаны результаты экспериментального исследования пиролиза топливных суспензий, приготовленных из отходов обогащения каменных углей, а также торфа и бурого угля под действием светового излучения высокой интенсивности (как в виде наносекундных лазерных импульсов, так и в виде непрерывного потока монохроматического излучения). Показано, что пиролизные газы, получаемые из суспензий с влажностью свыше 30 мас. %, приготовленных на основе фильтр-кека каменного угля, не содержат значимых концентраций СО₂.

В шестой главе представлены результаты математического моделирования процесса пиролиза топливной суспензии под действием мощного радиационного нагрева. Проанализирована динамика распределений температуры и влажности суспензии, а также концентрации несвязанного углерода в объеме порции топлива.

В седьмой главе сформулированы различные пути практического применения представленных в работе результатов. Приведена оценка экономического эффекта от сжигания смесей, созданных на основе отходов обогащения угля вместо энергетических углей.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В приложениях подтверждены факты применения разработанных положений и принципов переработки отходов обогащения углей и

ископаемых топлив с низкой теплотой сгорания, а также использования результатов диссертационного исследования в учебном процессе и ряде крупных НИР.

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

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

3. Новизна исследования и полученных результатов

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

1. На основе полученных соискателем экспериментальных данных и результатов математического моделирования сформулирован подход, позволяющий использовать мощный световой поток для непосредственного распыления и пиролиза водо-угольных суспензий, приготовленных как на основе отходов обогащения каменных углей, так и ископаемых топлив с низкой теплотой сгорания. Объяснены основные закономерности наблюдаемых явлений, проанализированы зависимости ряда важных параметров рассматриваемых процессов от интенсивности излучения, а также состава суспензии.
2. Предложен путь повышения энергетических и экологических показателей водо-угольных суспензий, приготовленных на основе отходов углеобогащения, за счет добавления небольшого количества (концентрация менее 5 мас.%) неорганических примесей (порошки алюминия, железа, меди, мела). Установлены основные закономерности зажигания и горения таких топлив в различных условиях.

Большая часть работ соискателя по теме диссертационного исследования опубликованы в научных журналах из первого и второго квартиля международных рейтинговых баз Scopus и Web of Science. Данный факт отражает признание новизны и значимости результатов, представленных в диссертации Егорова Р.И. международным научным сообществом.

4. Практическая значимость полученных результатов

Практическая значимость результатов, представленных в диссертационной работе состоит в определении физических основ перспективной технологии утилизации отходов углеобогащения с использованием мощного светового потока. Основные выводы и положения могут быть обобщены на случай использования солнечного света, что открывает путь к созданию дешевой технологии утилизации отходов. Разработанная автором прогностическая модель пиролиза топлива под действием мощного светового потока, позволяет предсказать наиболее эффективные режимы переработки отходов.

В работе также обоснована эффективность добавления малых количеств неорганических примесей, позволяющих повысить энергетические и экологические показатели топливных смесей, приготовленных из отходов обогащения каменных углей. Заявлен положительный экономический эффект от замещения энергетических углей предложенными топливными суспензиями.

5. Обоснованность и достоверность научных выводов, положений и рекомендаций

Основные выводы, сделанные в работе, а также положения, выносимые на защиту, сформулированы в результате детального анализа большого количества экспериментальных данных, подтвержденных результатами математического моделирования.

Заключения, сделанные в работе, логически не противоречивы и теоретически обоснованы, согласуются с результатами, ранее опубликованными в научной литературе.

Применение современных методов исследования и средств измерений позволяет сделать вывод о хорошей точности результатов и, следовательно, высокой достоверности научных положений, выводов и заключений диссертационной работы. Публикации полностью отражают содержание диссертационной работы.

6. Замечания по диссертационной работе

По работе стоит отметить ряд недостатков:

1. В работе показано, что из-за влияния водяного пара применение конвективного нагрева очень эффективно с точки зрения скорости зажигания водо-угольной суспензии в области относительно низких температур. При более высоких температурах эффективнее становится радиационный нагрев. Прямое сопоставление этих результатов представляется не совсем корректным, так как коэффициент избытка воздуха в этих двух случаях сильно отличается.
2. Влияние примесей на состав золы рассмотрено в Главе 4 слишком поверхностно и требует дополнительной проработки.
3. Описанные в Главе 5 затраты энергии от внешнего источника на пиролиз единичной массы суспензии под действием нагрева потоком лазерных импульсов достаточно наглядно описывают затратность процесса пиролиза. Аналогичные оценки для процесса лазерного распыления были бы очень уместны и повысили бы практическую значимость работы.
4. Оформление работы содержит помарки:
 - На рис. 1,б автореферата представлены схемы стенда мониторинга микрофрагментации отдельных капель ВУС (рис. 2.5

диссертации) и стенда для исследования лазерных импульсов на время задержки зажигания ВУС (рис. 2.6). А схема стенда для исследования зажигания и горения ВУС, обозначенная в подрисуночной надписи к рис. 1 автореферата, показана на рис. 2.9 диссертации.

- В основной части работы в качестве единиц измерения температуры указаны градусы Цельсия, кое-где переводимые в Кельвины. Для повышения читабельности работы нужно использовать единую единицу измерения.
- При изложении материала следует придерживаться современной терминологии – теплота сгорания, вместо иногда используемых автором устаревших терминов - калорийность, теплотворная способность.

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

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

Диссертация Егорова Романа Игоревича «Термическое разложение отходов углеобогащения и низкокалорийных топлив при нагреве световым потоком высокой интенсивности» является законченной научной работой и по своему содержанию 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.

Тема работы актуальна, а представленные результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Проблемы, решаемые в работе, составляют новое направление в области химической физики, дополняющее фундаментальные знания о процессах термического разложения смесевых топлив с низкой теплотой сгорания в условиях экстремального нагрева. Предлагаемые новые подходы расширяют инструментарий для проведения исследований в области энергетических топлив.

Работа полностью 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, Тугов Андрей Николаевич, заведующий отделением парогенераторов и топочных устройств Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт», доктор технических наук (05.14.14).

15.09.2023 г.



Тугов Андрей Николаевич

Почтовый адрес:

115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 14

Адрес электронной почты: ANTugov@vti.ru

Подпись д. т. н. Тугова А.Н. заверяю:

Руководитель отдела по управлению персоналом



/Новичкова Н.В./

Полное наименование организации:

Открытое акционерное общество «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт»

Юридический адрес: 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 14

Тел. 8 (495) 137-77-70

<https://vti.ru>