

## ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.06 д.т.н. Ивашкиной Елены Николаевны 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 посвящена комплексному исследованию процессов высокотемпературной переработки водных топливных суспензий, приготовленных из отходов обогащения каменных углей, а также низкокалорийных ископаемых топлив (торф и бурый уголь) в условиях экстремального нагрева. Разработка методов утилизации отходов обогащения углей с попутной выработкой тепловой энергии представляет не ослабевающий интерес для научного сообщества в течение последних десятилетий в виду роста остроты экологических проблем в угледобывающих регионах. С другой стороны, в условиях роста цен на традиционные промышленные топлива, продукты переработки горючих отходов и мало востребованных ископаемых топлив, могут послужить дешевым сырьем для химической промышленности и источником тепловой энергии для разного рода потребителей.

Освоенные промышленностью методы газификации, как правило, показывают достаточно низкую эффективность в применении к высокосольным низкокалорийным топливам. Основной проблемой в данном случае является невозможность переработки значительной массы топлива при сжигании меньшей порции в ходе автотермического процесса. Поиск надежных источников дешевого тепла, а также создание условий, позволяющих значительно повысить эффективность переработки отходов, сегодня являются активно развивающимся направлением исследований в этой области. Таким образом, разработка новых научно-обоснованных подходов, позволяющих реализовать эффективную и экологически безопасную переработку отходов углеобогащения и низкокалорийных ископаемых топлив, является **актуальной** задачей современной науки.

### **Анализ содержания диссертации**

Диссертационная работа 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 основные задачи, отражены новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** представлены результаты выполненного обзора публикаций в области исследования, охарактеризованы свойства объектов исследования (отходы обогащения углей, торфы, бурые угли). Приведены основные методики утилизации мелкодисперсных отходов углеобогащения, применяемые в настоящее время, а также наиболее популярные пути использования указанных низкокалорийных топлив. Детально проанализированы достоинства и недостатки различных применяемых и разрабатываемых методов термохимической переработки горючего сырья. Определены факторы, процессы, режимы, которые требуют дополнительных исследований для решения поставленных в диссертационной работе задач.

**Во второй главе** описаны использованные в работе методы исследования процессов высокотемпературной конверсии топливных смесей, представлены схемы стендов, а также описана математическая модель процесса газификации водо-угольных суспензий и исходные данные, необходимые для выполнения расчетов.

С точки зрения технологии переработки отходов наибольший интерес представляют предложенные методы пиролиза топливных суспензий под действием мощного светового потока. Применение разнообразных современных методов экспериментальных исследований позволяет сделать достаточно глубокие заключения на основе полученных результатов.

**В третьей главе** представлены результаты экспериментальных исследований распыления и зажигания водо-угольных суспензий, приготовленных на основе мелкодисперсных отходов обогащения каменного угля марки «Г». Проанализированы особенности мелкодисперсного распыления топливной суспензии под действием лазерных импульсов высокой интенсивности. Продемонстрирован потенциал данного подхода на фоне традиционной методики распыления при помощи механических форсунок.

В работе показано, что при высокой (более 8 Дж/см<sup>2</sup>) интенсивности лазерного излучения, процесс распыления суспензии протекает параллельно с пиролизом, в ходе которого доминирует выработка СО.

**В четвертой главе** исследованы особенности зажигания и горения водо-угольных суспензий, приготовленных с добавлением небольших количеств (менее 5 мас.%)

порошков алюминия, железа, меди и мела. Добавление порошка алюминия (ПАП-2) приводит росту температуры горения до 300 градусов (при радиационном нагреве) и соответствующему росту теплотворной способности смеси. Использование железа и мела позволяет существенно сократить производство вредных оксидов.

**В пятой главе** описаны результаты исследования пиролиза топливных суспензий, приготовленных из отходов обогащения каменных углей, а также торфа и бурого угля под действием лазерного излучения высокой интенсивности (как в виде наносекундных импульсов, так и в виде непрерывного потока излучения). Исследовано влияние химического состава суспензии и интенсивности нагрева на протекание процессов газификации топлива. Пиролизные газы, получаемые из суспензий, приготовленных на основе фильтр-кека каменного угля, не содержат значимых концентраций CO<sub>2</sub>.

**В шестой главе** представлены результаты математического моделирования пиролиза топливной суспензии под действием мощного светового потока. Проанализированы изменения пространственных распределений, температуры и влажности суспензии, а также концентрации не связанного углерода в объеме порции топлива.

**В седьмой главе** автором предложены возможные пути практического применения представленных в работе результатов исследований. Кроме того, приведена оценка экономического эффекта от применения смесей 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 низкокалорийных ископаемых топлив, а также использования результатов диссертационного исследования в учебном процессе ТПУ 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.

#### **Новизна исследования и полученных результатов**

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

1. Предложен и обоснован научный подход, позволяющий использовать процессы, протекающие при взаимодействии мощного светового излучения с угольной суспензией для ее мелкодисперсного распыления и пиролиза. Автором установлены закономерности наблюдаемых физико-химических явлений в процессе термического разложения отходов углеобогащения и низкокалорийных топлив при нагреве световым потоком высокой интенсивности, проанализированы основные зависимости, а также границы применимости предложенного подхода.
2. Установлен положительный эффект от применения неорганических добавок (порошки алюминия, железа, меди, мела), способствующих улучшению энергетических и экологических показателей топливных смесей, приготовленных из отходов углеобогащения. Установлены основные закономерности горения таких топлив, оценена эффективность разных методов теплопередачи для их нагрева.
3. Установлены новые закономерности протекания процессов окисления угольных суспензий под действием потоков излучения высокой интенсивности (свыше  $300 \text{ Вт/см}^2$ ).

Новизна и актуальность исследований подтверждается рядом публикаций в высокорейтинговых журналах. Значительная 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 определении физических основ ряда этапов перспективной технологии переработки отходов углеобогащения с использованием сфокусированного солнечного света.

Применение малых количеств неорганических добавок для повышения эффективности топливных смесей, приготовленных из отходов обогащения углей позволяет ожидать рост востребованности таких топлив в промышленности. Математическая модель пиролиза топлива под действием мощного светового потока, позволяет предсказывать наиболее эффективные режимы переработки отходов, открывая путь к новым подходам к проектированию технологических установок для их утилизации.

### **Обоснованность и достоверность научных выводов, положений и рекомендаций**

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

диссертационной работы, сформулированы в результате анализа большого массива экспериментальных данных, подтвержденных результатами математического моделирования.

Выводы и заключения, сделанные в работе, теоретически обоснованы и согласуются с результатами, ранее опубликованными в научной литературе.

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

### **Замечания по диссертационной работе**

По работе имеется ряд замечаний:

1. В работе показано, что с ростом влажности суспензии повышаются ее основные функциональные параметры – эффективнее работает лазерное распыление (глава 3), быстрее протекает пиролиз (глава 6). При этом не приводится никакой оценки верхней допустимой границы влажности смеси, при которой сохраняется целесообразность ее переработки.
2. Результаты работы, представленные в главе 4, получены при исследовании зажигания и горения одиночных капель топливной суспензии, что накладывает ограничения на их обобщение. Коллективные эффекты, упущенные при таком подходе, могут внести существенные изменения в итоговую картину, представленную в этой части работы.
3. Рекомендации по практическому применению результатов работы, изложенные в главе 7, содержат достаточно общие идеи без указания конкретных направлений их использования.
4. В диссертации встречаются опечатки и пунктуационные ошибки.

Однако указанные замечания носят познавательный характер и не снижают научной и практической ценности выполненных автором исследований по актуальной теме «Термическое разложение отходов углеобогащения и низкокалорийных топлив при нагреве световым потоком высокой интенсивности».

**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» выполнена на высоком научно-техническом уровне на актуальную тему, является законченным научным исследованием, соответствует требованиям 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.

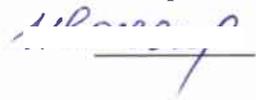
Представленные в работе результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Комплекс решенных научных задач, решаемых в работе, очевидно представляет новое направление в области химической физики, дополняя фундаментальные знания о процессах термического разложения низкокалорийных смесевых топлив в условиях экстремального нагрева.

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.

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.06, Ивашкина Елена Николаевна, профессор отделения химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов ТПУ, доктор технических наук (05.17.08).

05.09.2023 г.  Ивашкина Елена Николаевна

Почтовый адрес:

634050, г. Томск, пр-т. Ленина, д. 30.

Адрес электронной почты: [ivashkinaen@tpu.ru](mailto:ivashkinaen@tpu.ru)

Подпись д. т. н. Ивашкиной Е. Н. заверяю:

ученый секретарь  Национального исследовательского Томского политехнического университета



 Квинич Екатерина Александровна/

Полное наименование организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Юридический адрес: 634050, г. Томск, просп. Ленина, д.30.

Тел.: +7-(3822)-50-88-98

<https://www.tpu.ru/>