

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, ведущего научного сотрудника ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН г. Новосибирск, заведующего кафедрой теплоэнергетики Института энергетики ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» г. Кемерово

**Богомолова Александра Романовича**

на диссертационную работу Ларионова Кирилла Борисовича на тему  
**«Интенсификация процессов окисления энергетических углей активирующими добавками солей»,**

представленную на соискание ученой степени *кандидата технических наук* по специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

### Актуальность темы диссертационной работы.

Поставленная автором задача эффективного использования химической энергии угля для получения энергии является актуальной. Каталитическое сжигание позволяет снизить температуру горения и увеличить полноту сгорания угля, в результате чего сокращаются потери тепла через стенки топливосжигающего оборудования, упрощается процесс управления сжиганием и снижаются выбросы оксидов азота, образующихся при высоких температурах горения. Варьирование состава и природы активирующих добавок позволяет добиться высокого КПД использования топлива в низкотемпературной области процесса горения.

Ограничение широкого практического применения технологии каталитического сжигания в промышленности в настоящее время обусловлено отсутствием данных о комплексных исследованиях кинетики и механизма процессов, а также обобщения и обоснования имеющихся результатов. Большинство исследований в области каталитического сжигания твердого топлива направлено на использовании оксидов щелочных, редкоземельных и переходных металлов. При этом в литературных источниках практически отсутствует подробное описание процесса термического разложения углей в присутствии солей, имеющих более высокую химическую активность в сравнении с оксидами металлов.

Результаты такого рода исследований, несомненно, будут востребованы, т.к. в современной структуре производства тепловой и электрической энергии в РФ, Китае и ряде других стран уголь является востребованным видом топлива (доля потребления на энергетические нужды составляет около 39 %) наряду с природным газом и нефтью.

### Цель диссертационной работы.

Целью настоящей работы является определение характеристик процесса интенсифицированного окисления энергетических углей активирующими добавками солей.

### Научная новизна исследования и полученных результатов.

Наибольшее значение для науки и практики в будущем имеют результаты экспериментальных исследований К.Б. Ларионова и сформированные после их анализа и обобщения выводы.

1. Установлено, что активирующие добавки в виде солей в количестве 5 мас. %, введенные в состав энергетических углей, снижают начальную температуру выделения летучих соединений максимально на 100 °С в зависимости от типа добавки. С увеличением степени метаморфизма углей и снижения содержания кислородосодержащих функциональных групп, а также при уменьшении температуры разложения активирующей добавки, наблюдается эффект смещения начальной температуры выделения летучих соединений в низкотемпературную область процесса.

2. Установлено, что при неизотермическом окислении модифицированных углей в области температур 130-280 °С происходит полная или частичная термодеструкция солевых добавок (нитраты и ацетаты металлов) с образованием оксидов металлов и выделением соответствующих газообразных продуктов, что способствует активированию взаимодействия окислительной среды и углеродного субстрата.

3. Установлено, что воздействие активирующих добавок на характер протекания процесса окисления углей, имеет стадийность. Первая стадия связана с выделением активных газофазных продуктов окисления. Вторая стадия характеризуется образованием оксидов металлов (свыше 300 °С), которые катализируют процессы взаимодействия кислорода с углеродом.

4. Установлено, что с ростом скорости нагрева модифицированных добавками образцов углей увеличивается каталитический эффект добавок, который выражен в снижении температуры процесса окисления и повышении скорости протекания реакции.

#### Методология работы и методы исследования.

Методологической основой диссертационного исследования является последовательное проведение экспериментальных работ, связанных с определением физико-химических свойств исходных и модифицированных образцов энергетических углей, влияния активирующих добавок на процесс окисления энергетических углей с различной степенью углефикации, анализа газофазных продуктов окисления и вычисления параметров процесса. В работе использовались стандартные приборные методы исследований и современное сертифицированное научно-аналитическое оборудование, а также установка слоевого горения угля.

#### Практическая значимость работы.

Результаты экспериментальных исследований могут быть использованы для проектирования новых энергоэффективных топливосжигающих аппаратов, обеспечивающих высокую полноту сгорания угля, и улучшение экологических характеристик газообразных продуктов сжигания. Результаты работы могут служить основой для расширения теоретических знаний об активируемом окислении органических топлив.

#### Содержание диссертационной работы и ее завершенность.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка цитируемой литературы (145 источников). Материал работы изложен на 151 странице, включая 51 рисунок и 26 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, изложены цели диссертационной работы, показана научная новизна и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту, указан личный вклад автора в исследование.

**В первой главе** проведен аналитический обзор работ, посвященных современному состоянию проблемы оптимизации скорости окисления угля, с использованием активирующих добавок. Обзор литературных данных показал, что одним из перспективных способов преобразования углей в тепловую энергию является технология их каталитического сжигания. Варьирование состава и природы активирующих добавок при горении углей позволяет добиться высокого КПД использования топлива в низкотемпературной области процесса горения. Помимо повышения КПД и снижения температуры каталитическое сжигание углей характеризуется экологическими и технико-экономическими преимуществами в виде сокращения металлоемкости при создании новых аппаратных комплексов с минимальным количеством ступеней очистных сооружений отходящих газов. При этом ограничение широкого практического применения технологии каталитического сжигания в промышленности обусловлено отсутствием литературных данных о комплексных исследованиях кинетики и механизма процессов, а также обобщения и обоснования имеющихся результатов.

Также установлено, что большинство исследований в области каталитического сжигания углей направлено на использование оксидов щелочных, редкоземельных и переходных металлов. При этом в литературе практически отсутствует подробное описание процесса термического разложения углей в присутствии добавок солей. По ценовым характеристикам соли металлов зачастую имеют преимущество перед соответствующими оксидами.

**Во второй главе** приведено описание методологии работы, свойства исследуемых материалов и используемые методы исследования процесса окисления углей. В работе применялись следующие экспериментальные методы: дифференциально-термический, термогравиметрический, масс-спектрометрический анализы, рентгенофазовый анализ, растровая электронная микроскопия и энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия, элементный анализ по определению легких элементов C, H, N, S, O, а также определение технических характеристик углей на основании методик, соответствующих ГОСТов. В том числе были проведены экспериментальные работы исследуемого процесса в укрупненных условиях с помощью опытно-промышленного аппарата слоевого горения.

**В третьей главе** приведено исследование влияния активирующих добавок – солей на процесс окисления энергетических углей.

**В четвертой главе** приведен поверочный расчет топочного пространства стандартного котлоагрегата БКЗ-220-100-4С в условиях сжигания энергетических углей, модифицированных активирующими добавками солей. Полученные результаты показали, что при введении добавок  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  увеличивается КПД котлоагрегата  $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}$  в результате снижения потерь тепла от механической неполноты сгорания твердого топлива. Повышение  $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}$  также способствует снижению полного расхода топлива.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

Степень достоверности результатов исследования подтверждается использованием современных методов анализа с применением аттестованных приборов и методик: метод РФА, метод БЭТ, термический и масс-спектрометрический анализы, растровая электронная микроскопия и элементный анализ; множественным повторением экспериментов, обладающих высокой воспроизводимостью результатов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Результаты исследований могут быть рекомендованы для проектирования новых топливосжигающих аппаратов, обеспечивающих высокую полноту сгорания угля, улучшение экологических характеристик газообразных продуктов сжигания.

Замечания и рекомендации по работе:

1. В заключительных выводах по результатам выполненного исследования, п.4, отмечено, что в результате модифицирования добавкой нитрата меди бурого угля зафиксировано сокращение времени пребывания образца от начала его прогрева до полного сгорания горючей массы (образования золотого остатка) на 50 мин. Более информативна была бы относительная величина.

2. Если образцы угля измельчались в щековой дробилке и в барабанной мельнице с последующим рассевом (с. 38), то для чего выполнялось распределение размеров частиц углей с помощью лазерного дифракционного анализатора частиц Analysette 22 (с. 44)?

3. Необходимо уточнить данные при описании системы подвода окислителя (с. 50) по коэффициенту избытка воздуха, реализуемые в исследовании термической переработки угля в аппаратном комплексе, а также при каких условиях рассматривается расход воздуха в  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

4. Какой фракционный состав образцов угля для аппаратного комплекса использован: 15÷30 мм (с.38) или фракцией до 30 мм (с.53)?

5. В работе необходимо отразить процесс розжига аппаратного комплекса, но отмечено (с.53), что началом процесса протекания реакции горения было принято считать повышение температуры в рабочей зоне аппарата и регистрацию уходящих газов в виде CO<sub>2</sub>.

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не умаляют впечатления от рассматриваемой диссертации, как о законченной работе, выполненной на современном научно-техническом уровне.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям.

Основные положения диссертации отражены в опубликованных работах. Непосредственно по теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК РФ, 2 статьи в журналах «Fuel» (Q1) и «International Journal of Coal Science and Technology» (Q1), входящие в базы данных Scopus и Web of Science.

Диссертационные исследования выполнены в рамках реализации:

- Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» проекта «Проведение прикладных научных исследований и экспериментальных разработок с целью создания установок газификации твердых топлив для энергетики и промышленности» (ПНИЭР RFMEFI58114X0001);

- Государственного задания по проекту «Исследование кинетических характеристик низкотемпературной конверсии твердых топлив и получаемых продуктов газа» (ГЗ №13.7644.2017/БЧ).

Автореферат диссертации достаточно полно отражает основное содержание диссертации и достигнутые результаты.

По тематике исследования, методам, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 05.17.07 – химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ в пунктах:

№ 6. Общие научные основы и закономерности физико-химической технологии твердых горючих ископаемых. Разработка научных основ новых методов оценки взаимосвязи генезиса, строения и структуры твердых горючих ископаемых с их химико-технологическими свойствами

№ 8. Разработка новых процессов переработки органических веществ твердых горючих ископаемых с целью получения продуктов топливного назначения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

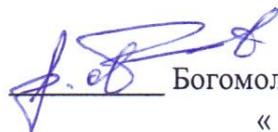
Диссертация Ларионова К.Б. на тему «Интенсификация процессов окисления энергетических углей активирующими добавками солей», представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную самостоятельно на высоком научно уровне, на актуальную тему, в которой получены новые и важные сведения о процессе интенсифицированного окисления энергетических углей активирующими добавками солей.

Соискатель продемонстрировал умение проводить качественное исследование в области оптимизации скорости окисления углей с использованием активирующих добавок; в постановке и планировании экспериментальных исследований окисления исходных и модифицированных энергетических углей; проведении экспериментов, а также обработки и анализе полученных результатов; формулировании защищаемых положений и выводов.

Научные положения и выводы, сформулированные автором, не вызывают сомнений. Результаты диссертационной работы оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью. Большая часть результатов отражена в публикациях и апробирована на профильных конференциях.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации Кирилла Борисовича Ларионова можно сделать вывод о том, что диссертационная работа на тему «Интенсификация процессов окисления энергетических углей активирующими добавками солей» соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. от 01.10.2018), так как является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для повышения эффективности процессов окисления энергетических углей и экологической эффективности в теплоэнергетических установках, а ее автор Кирилл Борисович Ларионов заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
(специальность 01.04.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника»),  
ведущий научный сотрудник ФГБУН  
Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск.  
Заведующий кафедрой теплоэнергетики Института энергетики  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,  
г. Кемерово



Богомолов Александр Романович  
« 23 » 04 2018 г.

Подпись Богомолова Александра Романовича  
заверяю \_\_\_\_\_

*Ученый секретарь Куз ГТУ*



ФИО заверяющего  
М.П. (гербовая)

Адрес: Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, д.1  
650000, Кемерово, ул. Весенняя, д.28  
E-mail: [barom@kuzstu.ru](mailto:barom@kuzstu.ru)  
тел. +79235170303

Россия, 630090, г. Новосибирск,  
проспект Академика Лаврентьева,  
д. 1.

ТЕЛ.: +7(383) 330-90-40  
ФАКС: +7(383) 330-84-80  
E-mail: [director@itp.nsc.ru](mailto:director@itp.nsc.ru)  
Web: <http://www.itp.nsc.ru>

Россия, 650000, Кемерово, ул.  
Весенняя, д.28

ТЕЛ.: +7(3842) 68-23-14  
ФАКС: +7(3842) 39-69-60  
E-mail: [rector@kuzstu.ru](mailto:rector@kuzstu.ru)  
Web: <https://www.kuzstu.ru>