

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Слюсарского Константина Витальевича "Исследование процессов термического окисления и зажигания твердых топлив", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

**Актуальность темы диссертационной работы.** В целом, исследование закономерностей сжигания углей в энергетических устройствах является актуальной проблемой, поскольку использование данного вида топлива составляет значимую часть в общем балансе производства электрической и тепловой энергии. Здесь автором обозначена конкретная задача, заключающаяся в необходимости совершенствования рассматриваемого процесса – оптимизация конструктивных и технологических параметров устройств с целью достижения, как высоких энергетических показателей, так и снижения выбросов нежелательных компонентов горения. Неотъемлемым методом решения данной задачи является применение математического моделирования. В связи с этим, автором проводится экспериментальное определение основных фундаментальных закономерностей зажигания и горения твердых топлив и установление, на основе обработки полученных данных измерений, кинетических характеристик протекающих химических реакций, которые являются основополагающими для проведения расчетов закономерностей процесса сжигания углей в энергетических установках. Таким образом, актуальность темы диссертации полностью обоснована.

**Общая оценка диссертационной работы.** Анализ содержания диссертационной работы производит положительное впечатление последовательно проведенного исследования: четко обозначены цели и задачи работы, проведен анализ сложившихся к настоящему времени методов и подходов в рассматриваемой области (введение и глава 1), приведено детальное описание разработанной

собственной экспериментальной установки и методики определения измеряемых параметров (глава 2), приведены результаты экспериментальных исследований (глава 3) и результаты математической обработки данных измерений, получены кинетические характеристики зажигания твердых топлив (глава 4), сформулированы выводы и рекомендации по использованию полученных результатов, в приложении представлены данные визуального наблюдения процесса и детальные кинетические характеристики. Отдельно следует отметить следующее. Проведенный автором литературный обзор выгодно отличается высоким уровнем: проведен конструктивный и критический анализ большого числа работ, в том числе "свежих" публикаций, что позволяет судить о компетенции соискателя. Представлено подробное описание методики проведения эксперимента и способов подготовки образцов твердых топлив, в результатах измерений приведены детальные термогравиметрические кривые и методы их математической обработки. В целом, представленный в работе материал содержит практически полную информацию об условиях проведения эксперимента и обеспечивает возможную его повторяемость для других исследователей.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (159 наименований) и двух приложений. Диссертация изложена на 166 страницах машинописного текста, содержит 41 рисунок и 13 таблиц.

**Научная новизна** представленных в диссертационной работе положений и результатов характеризуется следующими основными положениями:

- разработана собственная методика проведения экспериментальных исследований зажигания углей при лазерном нагреве;
- получены новые данные по влиянию дисперсности образцов углей на кинетическую функцию, описывающую степень газификации твердого топлива;
- получены новые закономерности зажигания твердых топлив при различных скоростях нагрева, установлены две основные стадии протекания реакции газификации для каменного и бурого углей, соответствующие испарению включений и собственно окислительной термической деструкции соответственно;

- определены эффективные осредненные значения кинетических характеристик – предэкспонента и энергии активации реакции окисления.

**Практическая значимость** результатов исследований в достаточной степени очевидна. Установленные значения предэкспонента и энергии активации реакции окисления, как эффективные (осредненные), так и их исходные кинетические кривые представляют несомненную ценность для проведения расчетов параметров горения углей в условиях реальных масштабов энергетических устройств.

**Достоверность** результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается использованием апробированных методов измерений и математической обработки данных, а также согласованием закономерностей, полученных соискателем с известными данными других авторов.

**Автореферат** в полной мере отражает содержание диссертации, в нем последовательно раскрыты поставленные цели и задачи исследования, представлены все основные результаты работы, сформулированы положения, выносимые на защиту. Результаты и выводы исследования соответствуют поставленным целям и задачам.

Основные положения, результаты и выводы диссертационного исследования опубликованы в 17 печатных работах, в том числе 5 – в журналах из списка, рекомендованного ВАК РФ для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. По существу, все 17 публикаций могут считаться соответствующим списку ВАК, поскольку опубликованы в изданиях, индексируемых в международных базах данных WoS и Scopus.

По работе имеется ряд **замечаний**:

1. На рис. 3.3 (стр. 65-66 диссертации) представлены данные измерений потери массы и скорости реакции при пиролизе твердого горючего в инертной атмосфере. Полная возможная газификация здесь приведена только для бурого угля, тогда как кривые для антрацита и каменного угля приведены до температуре 1000 С, хотя, как отмечено в п.2.2.2 диссертации, используемая установка позволяет проводить измерения до температуры 2500 С. Так, для бурого угля достигнуто

содержание летучих продуктов 50% (в таблице 2.1 – 32 %). Возможен ли здесь унос диспергированной фазы? Данные по пиролизу в инертной атмосфере представляют определенную ценность, поскольку в реальных условиях вполне вероятны процессы, проходящие при недостатке (отсутствии) кислорода.

2. Оппоненту не удалось обнаружить в диссертации (возможно, упустил, так или иначе) данных по физическим (размерным) значениям массовой или линейной скорости пиролиза ( $\text{кг/с/м}^2$  или  $\text{м/с}$ ), что позволило бы оценить реальные значения теплового потока и скорости нагрева на поверхности твердого топлива в условиях горения.

3. В таблице 4.2 на стр.123 диссертации (таблица 6 на стр.21 автореферата) отсутствуют уточненные значения для антрацита. Утверждение автора "*Поскольку при зажигании антрацита наблюдается значительный отток частиц топлива от поверхности образца, уточнение для процесса зажигания антрацита не проводилось*" не выглядит в достаточной мере обоснованным.

4. На стр. 118 диссертации уравнение разрешается относительно комплекса  $QA$ , тогда как теплота сгорания твердого топлива  $Q$  представляет собой измеряемую характеристику (получаемую, например, сжиганием образца в бомбе постоянного давления) и не является кинетическим параметром реакции.

5. В тексте диссертации содержится ряд неточностей. Так, в уравнении (4.13) на стр. 115 диссертации в последнем слагаемом правой части необходимо исключить теплоемкость из знаменателя и добавить плотность в числитель. Вероятно опечатка, поскольку результаты решения сразу бы вывели данный факт. Уравнение без номера на стр. 120 диссертации (оно же – второе уравнение на стр. 20 автореферата) записано верно. Далее, использование ссылок на номер уравнения до того как данное уравнение введено в текст выглядит не вполне, скажем так, общепринятым. На стр. 105 диссертации имеется ссылка на п.4.1.2, находящаяся внутри самого п.4.1.2. На стр. 105 имеется ссылка на уравнение (2.12), отсутствующее в тексте (возможно, имеется в виду уравнение (4.12)). На стр. 116 диссертации уравнение (4.8) следует после уравнения (4.14).

Отмеченные замечания не противоречат основным положениям и полученным результатам и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

**Заключение.** Диссертация Слюсарского К.В. является завершенной научно-квалификационной работой, ее содержательная часть соответствует п.7 паспорта специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11 "Положения о присуждении ученых степеней", предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Слюсарский Константин Витальевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Главный научный сотрудник  
лаборатории физико-химической механики  
Удмуртского федерального исследовательского центра  
Уральского отделения РАН,  
доктор физико-математических наук

\_\_\_\_\_ Карпов Александр Иванович

Подпись А.И. Карпова удостоверяю

Специалист по кадрам УдмФИЦ УрО РАН

 Н.Н. Черных

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»; 426067, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34; тел. (3412) 50-82-00;  
E-mail: [udnc@udman.ru](mailto:udnc@udman.ru); <http://www.udman.ru/>

