

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и инновациям
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

Степанов Игорь Борисович

2018 г.

МП

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Диссертационная работа «Исследование процессов термического окисления и зажигания твердых топлив» выполнена в инженерной школе энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Слюсарский Константин Витальевич обучался в очной аспирантуре и работал ассистентом в научно-образовательном центре И.Н. Бутакова инженерной школы энергетики, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В 2014 году с отличием окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника».

Диплом об окончании аспирантуры и сдаче всех кандидатских экзаменов выдан 26.06.2018 г. (107004 0016678) федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель – Коротких Александр Геннадьевич, доктор физико-математических наук, профессор научно-образовательного центра И.Н. Бутакова инженерной школы энергетики, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Личное участие соискателя состоит в разработке плана и методик исследования, а также проведении экспериментального исследования процессов термического окисления при конвективном нагреве и зажигании при лучистом нагреве образцов антрацита, каменного и бурого углей в совместной работе с научным руководителем. При непосредственном участии соискателя определены химические, морфологические свойства и дисперсные характеристики исследуемых образцов твердого топлива. Разработаны и реализованы методики обработки результатов эксперимента, определены основные параметры процессов окисления и зажигания образцов твердых топлив. Разработана методика определения влияния дисперсного состава твердого топлива на форму кинетической функции при термическом окислении. Определены значения констант формальной кинетики при окислении и зажигании

исследуемых образцов твердого топлива, а также их зависимость от скорости нагрева, степени конверсии и плотности теплового потока. Выявлена взаимосвязь между значениями констант формальной кинетики процессов окисления и зажигания твердого топлива.

Актуальность работы заключается в следующем.

- Твердые топлива (различные марки углей) широко используются в энергетике при производстве электрической и тепловой энергии. Для более рационального сжигания углей в энергетических установках и обеспечения безопасной добычи топлива в угольных шахтах необходимо изучение фундаментальных вопросов зажигания и горения добываемых топлив.
- Существующие лабораторные методики исследования процессов зажигания и горения твердых топлив не позволяют получить достоверные данные, т.к. данные процессы осуществляются в условиях, значительно отличающихся от условий реальной эксплуатации энергетических установок, как по способу подвода тепла, так и по скорости нагрева. Большой интерес представляет применение методик исследования с высокой скоростью нагрева и достаточно высоким временным разрешением.
- Отсутствие параметров и кинетических констант процесса зажигания твердого топлива в условиях высоких скоростей нагрева при лучистом подводе тепла не позволяет получить достоверные результаты при расчете математических моделей.

Достоверность результатов подтверждается удовлетворительной повторяемостью экспериментальных данных при проведении параллельных измерений и оценками систематических и случайных погрешностей опытных данных при использовании общепринятых классических методов математической обработки результатов эксперимента, а также использованием высокоточного аналитического оборудования и отработанных на практике методик. Полученные опытные данные термического анализа согласуются с полученными в аналогичных условиях результатами, которые представлены в научных публикациях.

В работе предложена экспериментальная установка на основе CO_2 -лазера и методика определения основных параметров зажигания образцов твердого топлива при нагреве лучистым тепловым потоком, позволяющая достигать высоких скоростей нагрева, что соответствует условиям реальной эксплуатации энергетических установок, а также методика расчета параметров формальной кинетики.

Новизна подхода заключается в использовании экспериментального стенда на основе CO_2 -лазера непрерывного действия, позволяющего осуществлять нагрев исследуемых образцов твердого топлива со скоростью близких к реальным условиям сжигания топлива в энергетических установках; определении основных характеристик окисления и зажигания образцов антрацита, каменного и бурого углей для изучения стадий зажигания и горения топлив; а также в расчете кинетических параметров с учетом влияния дисперсного состава топлива на форму кинетической функции.

Практическая значимость работы заключается в:

- в развитии теории зажигания энергетических твердых топлив при лучистом подводе тепла, что дает возможность развития направления лазерного розжига углей и поддержания устойчивого горения в энергетических установках, а также создании условий пожаро-, взрывобезопасности при добыче топлива в угольных шахтах;
- создании методики определения параметров зажигания и значений констант формальной кинетики при нагреве лучистым потоком тепла с высокой скоростью нагрева, что позволяет существенно упростить схему определения основных параметров зажигания, критических тепловых потоков в ходе проектных работ и моделировании различных установок без значительного снижения точности;
- сопоставлении параметров зажигания и констант формальной кинетики при низкоскоростном конвективном и высокоскоростном лучистом нагреве.

Апробация работы. Основные результаты работы обсуждались на научных семинарах, конференциях инженерной школы энергетики Томского политехнического университета, а также на конференциях, проводимых другими организациями с 2014 по 2017 годы.

1. III Международный молодежный форум «Интеллектуальные энергосистемы», г. Томск, НИ ТПУ, 28 сентября – 2 октября 2015 г.

2. IX Всероссийская конференция с международным участием «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения», г. Новосибирск, ИТ СО РАН, 16–18 ноября 2015 г.

3. Международная молодежная научная конференция «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования», г. Томск, НИ ТПУ, 19–21 апреля 2016 г.

4. 11th International Forum on Strategic Technology 2016 (IFOST 2016), г. Новосибирск, 1–3 июня 2016 г.

5. XV Международная конференция по термическому анализу и калориметрии в России (RTAC-2016), г. Санкт-Петербург, СПбПУ Петра Великого, 16–23 сентября 2016 г.

6. IV Международный молодежный форум «Интеллектуальные энергосистемы», г. Томск, НИ ТПУ, 10–14 октября 2016 г.

7. VII Всероссийская научная конференция с международным участием «Теплофизические основы энергетических технологий», г. Томск, НИ ТПУ, 26–28 октября 2016 г.

8. Международная молодежная научная конференция «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования», г. Томск, НИ ТПУ, 26–28 апреля 2017 г.

9. Всероссийская конференция «XXXIII Сибирский теплофизический семинар», г. Новосибирск, ИТ СО РАН, 6–8 июня 2017 г.

10.9 Международный семинар по структуре пламени, г. Новосибирск, ИХКиГ СО РАН, 10–14 июля, 2017 г.

11. Международная конференция «Современные проблемы теплофизики и энергетики», г. Москва, МЭИ, 9-11 октября 2017 г.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Проведение прикладных научных исследований и экспериментальных разработок с целью создания установок газификации твердого топлива» на 2014-2020 годы (уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI58114X0001) и государственного задания «Исследование кинетических характеристик низкотемпературной конверсии твердых топлив и получаемых продуктов газа» (проект №13.7644.2017/БЧ).

Публикации по теме диссертации

По теме диссертационной работы опубликовано 17 печатных работ, в том числе: 5 научных статей в рецензируемых журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ, из которых 2 статьи в зарубежном журнале (включая Q1 квартиль), и 12 статей в изданиях, индексируемых БД Scopus.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. **Слюсарский, К.В.** Методика комплексного исследования характеристик зажигания и горения твердых топлив / К.В. Слюсарский, А.Г. Коротких, А.В. Архипов, В.Е. Зарко, О.Г. Глотов, А.Б. Кискин, С.А. Янковский // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57, № 8/2. – С. 165–173. (коэффициент участия – 0,2).

2. **Слюсарский, К.В.** Исследование кинетики газификации угольного кокса в среде углекислого газа / К.В. Слюсарский, А.Г. Коротких, А.А. Дитц // Химическая физика. – 2016. – Т. 35, № 7. – С. 16–22. (коэффициент участия – 0,6).

3. **Слюсарский, К.В.** Влияние температуры окислительной среды на процесс газификации угольного кокса / К.В. Слюсарский, А.Г. Коротких, // Химическая физика и мезоскопия. – 2017. – Т. 19, № 1. – С. 20–30. (коэффициент участия – 0,5).
4. **Slyusarskiy, K.V.** Kinetics of coal char gasification in a carbon dioxide medium / K.V. Slyusarskiy, A.G. Korotkikh, A.A. Ditts // Russian Journal of Physical Chemistry B. – 2016. – Vol. 10. Iss. 4. – P. 576–581. (коэффициент участия – 0,5).
5. **Slyusarskiy, K.V.** Non-isothermal kinetic study of bituminous coal and lignite conversion in air and in argon/air mixtures / K.V. Slyusarskiy, K.B. Larionov, V.I. Osipov, S.A. Yankovsky, V.E. Gubin, A.A. Gromov // Fuel. – 2017. – Vol. 191. – P. 383–392. (коэффициент участия – 0,4).
- 6.

Публикации в материалах, индексируемых БД Scopus:

1. **Slyusarskiy, K.V.** Kinetic study of coals gasification into carbon dioxide atmosphere / A.G. Korotkikh, K.V. Slyusarskiy // В сборнике: MATEC Web of Conferences "Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment". – 2015. – Article No. 01020. P. 1-5. (коэффициент участия – 0,5)
2. **Slyusarskiy, K.V.** Physical-Mathematical Model for Fixed-Bed Solid Fuel Gasification Process Simulation / K.V. Slyusarskiy, A.G. Korotkikh, I.V. Sorokin // MATEC Web of Conferences "4th International Youth Forum on Smart Grids". – 2016. – Vol. 91. – P.01011.1-5.
3. **Slyusarskiy, K.V.** Effect of Oxidizing Medium on Synthesis Gas Content at Solid Fuel Gasification / K.V. Slyusarskiy, A.G. Korotkikh, I.V. Sorokin // MATEC Web of Conferences "Heat and Mass Transfer in the System of Thermal Modes of Energy - Technical and Technological Equipment, HMTTSC". – 2016. – Vol. 72. – P.01104.1-4.
4. **Slyusarskiy, K.V.** Effect of CO₂ temperature and particle size distribution of fuel on the gasification kinetic parameters / A.G. Korotkikh, K.V. Slyusarskiy // В сборнике: Proceedings of IFOST-2016 11th International Forum on Strategic Technology. – 2016. – P. 580-583. (коэффициент участия – 0,5)
5. **Slyusarskiy, K.V.** Dependence of pyrolysis rate of coal on temperature / K.V. Slyusarskiy, M.K. Bejsekov, J.V. Marysheva, Y.Ja. Rakov // В сборнике: MATEC Web of Conferences "Smart Grids 2015". – 2015. – Article No. 01053. P. 1-4. (коэффициент участия – 0,5)
6. **Slyusarskiy, K.V.** The inverse stationary heat conduction problem for a cuboid / K.M. Yacenko, Y.Y. Rakov, K.V. Slyusarskiy // В сборнике: MATEC Web of Conferences "4th International Youth Forum "Smart Grids 2016"". – 2016. – Article No. 01008. P. 1-5. (коэффициент участия – 0,2)
7. **Slyusarskiy, K.V.** Coal char oxidation kinetics in air medium / A.G. Korotkikh, K.V. Slyusarskiy, I.V. Sorokin // В сборнике: MATEC Web of Conferences "Thermophysical Basis of Energy Technologies, TBET 2016". – 2016. – Article No. 01020. P. 1-6. (коэффициент участия – 0,5)
8. **Slyusarskiy, K.V.** Comparison of coal reactivity during conversion into different oxidizing medium / A.G. Korotkikh, K.V. Slyusarskiy, K.B. Larionov, V.I. Osipov // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Т. 754, № 5. – Article No. 052005. P. 1-5. (коэффициент участия – 0,4)
9. **Slyusarskiy, K.V.** Coal char oxidation kinetics in air medium / K.V. Slyusarskiy, S.A. Jankovskiy, A.G. Korotkikh, I.V. Sorokin // В сборнике: AIP Conference Proceedings "Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects, YSSIP 2016: Proceedings of the III International Young Researchers Conference "Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects"". – 2017. – Article No. 020014. P. 1-6. (коэффициент участия – 0,5)
10. **Slyusarskiy, K.V.** Studying solid fuel ignition by CO₂-laser / A. Korotkikh, K.V. Slyusarskiy, I.V. Sorokin // В сборнике: MATEC Web of Conferences "33rd Siberian Thermophysical Seminar, STS 2017". – 2017. – Article No. 03003. P. 1-5. (коэффициент участия – 0,5)
11. **Slyusarskiy, K.V.** Thermophysical properties of composite fuel based on T grade coal (alardinskoe deposit) and timber industry wastes / S.A. Yankovsky, A.A. Tolokolnikov, V.E. Gubin,

K.V. Slyusarskiy, A.V. Zenkov // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Т. 899, № 9. – Article No. 092014. P. 1-5. (коэффициент участия – 0,2)

12. **Slyusarskiy, K.V.** Study on coal char ignition by radiant heat flux / K.V. Slyusarskiy, A.G. Korotkikh // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 891, I. 1. – Article No. 012223. P. 1-5. (коэффициент участия – 0,5)

Публикации в материалах научно-технических конференций:

1. **Слюсарский, К.В.** Анализ физико-химических свойств жидкого композиционного топлива на основе бурого угля марки 2Б / В.И. Осипов, К.Б. Ларионов, А.А. Дитц, К.В. Слюсарский // В сборнике: Энергетика: эффективность, надежность, безопасность Материалы трудов XXI Всероссийской научно-технической конференции. В 2 томах. – 2015. – С. 337-339. (коэффициент участия – 0,3)

2. **Слюсарский, К.В.** Кинетические константы газификации угольного кокса в CO_2 с учетом функции распределения скорости реакции / А.Г. Коротких, К.В. Слюсарский // В сборнике: Динамика Многофазных Сред XIV Всероссийский семинар, приуроченный к 75-летию академика РАН Фомина В.М.. Под редакцией В.М. Фомина, А.В. Федорова. – 2015. – С. 195-197. (коэффициент участия – 0,5)

3. **Слюсарский, К.В.** Исследование влияния содержания водяного пара в воздухе на скорость газификации коксового остатка с использованием термогравиметрии / С.А. Янковский, К.В. Слюсарский, Ларионов К.Б. В сборнике: Электротехника. Энергетика. Машиностроение сборник научных трудов I международной научной конференции молодых ученых. Новосибирский государственный технический университет; Межвузовский центр содействия научной и инновационной деятельности студентов и молодых ученых Новосибирской области. 2014. С. 277-280. (коэффициент участия – 0,3)

4. **Слюсарский, К.В.** Обратная стационарная задача теплопроводности для кубоида / К.Н. Яценко, К.В. Слюсарский, Ю.Я. Раков // В сборнике: Интеллектуальные энергосистемы труды IV Международного молодежного форума: в 3 томах. Томский политехнический университет. – 2016. – С. 283-286. (коэффициент участия – 0,2)

Диссертация «Исследование процессов термического окисления и зажигания твердых топлив» Слюсарского Константина Витальевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

Заключение принято на заседании научного семинара научно-образовательного центра И.Н. Бутакова.

Присутствовало на заседании 26 человек. Результаты голосования: «за» – 26 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 13 от 06 сентября 2018 г.

Литвак Валерий Владимирович, доктор технических наук, НОЦ И.Н. Бутакова, профессор