

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.285.07,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА»,  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 07 июня 2019 г. № 8

О присуждении Свищеву Денису Алексеевичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Термодинамический анализ и исследование механизма слоевой обращенной газификации биомассы» по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 18 марта 2019 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом Д 212.285.07, созданным на базе ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; созданным приказом Минобрнауки России № 763/нк от 05.11.2013 г.

Соискатель, Свищев Денис Алексеевич, 1983 года рождения, в 2005 году окончил Иркутский государственный университет по специальности «Химия»; в 2008 г. окончил очную аспирантуру ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ; работает в должности младшего научного сотрудника Отдела теплосиловых систем ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г.

Иркутск, Минобрнауки России.

Диссертация выполнена в Отделе теплосиловых систем ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, Кейко Александр Владимирович, АО «Фармасинтез», генеральный директор.

**Официальные оппоненты:**

**Стрижак Павел Александрович**, доктор физико-математических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Исследовательская школа физики высокоэнергетических процессов, профессор;

**Рябов Георгий Александрович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт», г. Москва, отделение парогенераторов и топочных устройств, лаборатория специальных котлов, заведующий лабораторией

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск – в своем положительном отзыве, подписанном Елистратовым Сергеем Львовичем, д-ром техн. наук, доц., заведующим кафедрой тепловых электрических станций, Овчинниковым Юрием Витальевичем, д-ром техн. наук, доц., профессором кафедры тепловых электрических станций, и Щинниковым Павлом Александровичем, д-ром техн. наук, проф., профессором кафедры тепловых электрических станций, указала, что диссертационная работа Свищева Д.А. представляет собой завершенную научно-исследовательскую квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны. Диссертация соответствует критериям, указанным в пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Свищев Денис Алексеевич, заслуживает при-

суждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Соискатель имеет 27 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 27 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 16 работ.

Другие публикации по теме диссертации представлены в виде 3 коллективных монографий; 1 препринта, 7 статей, опубликованных в научных журналах (2) и в сборниках докладов международных (5) научных конференций. Общий объем опубликованных работ – 23,0 п.л., авторский вклад – 5,9 п.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

*Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК:*

1) Свищев Д.А. Модернизация поточного воздушного газификатора для твердотопливной парогазовой установки / А.Ф. Рыжков, Н.А. Абаимов, И.Г. Донской, **Д.А. Свищев** // Физика горения и взрыва. 2018. т. 54. №3. С. 96-103; 0,54 п.л./0,14 п.л. (Scopus, WoS)

2) Svishchev D.A. Coal gasification process simulations using combined kinetic-thermodynamic models in one-dimensional approximation / I.G. Donskoy, V.A. Shamansky, A.N. Kozlov, **D.A. Svishchev** // Combustion Theory and Modeling. 2017. P. 1-31; 1,79 п.л./0,45 п.л. (Scopus, WoS)

3) Свищев Д.А. Кинетический анализ термохимической конверсии твердых топлив (обзор) / А.Н. Козлов, **Д.А. Свищев**, Г.И. Худякова, А.Ф. Рыжков // Химия твердого топлива. 2017. № 4. С. 12-21; 0,90 п.л./0,23 п.л. (Scopus, WoS)

4) Свищев Д.А. Расчетное исследование эффективности ступенчатого процесса газификации влажной древесины / И.Г. Донской, А.Н. Козлов, **Д.А. Свищев**, В.А. Шаманский // Теплоэнергетика. 2017. № 4. С. 21-29; 0,75

п.л./0,19 п.л. (Scopus)

5) Svishchev D.A. A semi-empirical approach to the thermodynamic analysis of downdraft gasification / **D.A. Svishchev**, A.N. Kozlov, I.G. Donskoy, A.F. Ryzhkov // Fuel. 2016. Vol. 168. P. 91-106; 2,26 п.л./0,57 п.л. (Scopus, WoS)

6) Свищев Д.А. Расчет режимов слоевой газификации угля с помощью термодинамической модели с макрокинетическими ограничениями / И.Г. Донской, А.В. Кейко, А.Н. Козлов, **Д.А. Свищев**, В.А. Шаманский // Теплоэнергетика. 2013. №12. С. 56-61; 0,58 п.л./0,14 п.л. (Scopus)

#### *Монографии*

1) Svishchev D. Modeling of Pyrolysis in a Stage Scheme of Low-Grade Solid Fuel Gasification / A. Kozlov, A. Levin, **D. Svishchev**, V. Shamansky, A. Keiko // Pyrolysis. InTech, 2017. P. 71-88 (0,9 п.л./0,18 п.л.).

2) Свищев Д.А. Численные исследования работы перспективного поточного газогенератора / Н.А. Абаимов, И.Г. Донской, В.А. Кузнецов, **Д.А. Свищев**, М.Ю. Чернецкий // Анализ технологических решений для ПГУ с внутрицикловой газификацией угля / под. ред. А.Ф. Рыжкова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. Гл. 6. С. 295-366 (2,73 п.л./0,55 п.л.).

3) Свищев Д.А. Управляемость процессов слоевой термохимической конверсии твердого топлива / А.В. Кейко, **Д.А. Свищев**, А.Н. Козлов, И.Г. Донской // Газогенераторные технологии в энергетике / под. ред. А.Ф. Рыжкова. – Екатеринбург: Сократ, 2010. – 611 с (0,55 п.л./ 0,14 п.л.).

На автореферат диссертации поступили положительные отзывы:

1. Филиппова Сергея Петровича, д-ра техн. наук, акад. РАН, директора ФГБУН Институт энергетических исследований Российской академии наук, г. Москва. Содержит вопросы и замечания: 1) в работе не рассмотрены вопросы себестоимости получения конечных видов энергии и потенциальный рынок для технологии газификации; 2) как соотносятся исследованные автором работы режимы горения одиночных древесных частиц с классическими

представлениями о диффузионно-кинетических режимах гетерогенного горения?

2. Шмакова Андрея Геннадьевича, канд. хим. наук, заведующего лабораторией кинетики процессов горения ФГБУН Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск. Содержит вопросы и замечания: 1) В главе 4 представлены результаты опытов на кварцевом стенде. Указано, что прозрачный материал стенок реактора позволяет вести визуальные наблюдения за слоем топлива. Однако результатов подобных наблюдений не приведено. 2) В пятой главе приведена конструкция установки для сжигания частиц и указано на возможность их извлечения из печи и тушения водой. Следовало бы прокомментировать эту техническую возможность. С какой целью она предусмотрена и что позволяет реализовать?

3. Богомолова Александра Романовича, д-ра техн. наук, ведущего научного сотрудника ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск. Содержит замечания: 1) Тема диссертации, объект, предмет и цель исследования выражены недостаточно стройно, имеют характер не в полной мере их взаимосвязи. 2) Соискателю необходимо конкретизировать или уточнить фразу (с. 5) автореферата: «Представления о различных механизмах конверсии могут стать основой прикладных НИОКР, направленных на создание нового высокоэффективного энергетического оборудования». 3) Автору работы необходимо конкретизировать прикладное значение экспериментальной методики (с. 5), используемой для составления полного материального и энергетического балансов процесса. 4) В автореферате (с. 14) была выдвинута гипотеза о неклассическом механизме конверсии древесины. В соответствии с ней реакционные зоны располагаются не в различных частях слоя топлива, а в пределах объема отдельных реагирующих частиц. Автору рекомендуется сделать разъяснения о выдвинутой гипотезе в приложении к прямому процессу газификации.

4. Шмидта Фёдора Карловича, д-ра хим. наук, профессора, профессора кафедры физической и коллоидной химии ФГБОУ «Иркутский государственный университет», г. Иркутск. Содержит вопросы и замечания: 1) Недостаточное использование аппарата моделей экстремальных промежуточных состояний (МЭПС), разработанных в лаборатории термодинамики ИСЭМ СО РАН. Представляют интерес не только состояния конечного равновесия, но и промежуточные состояния, раскрывающие химизм реакций неполного горения. 2) В автореферате указано, что расчет равновесия выполняли решением системы нелинейных уравнений методом неопределенных множителей Лагранжа. При этом в рамках научной школы предложены методы на основе математического программирования. Понятно, что в силу общности термодинамических законов решение не должно зависеть от выбора метода расчетов. Вместе с тем хотелось бы понять, какими преимуществами и недостатками обладают оба эти подхода?

5. Белова Глеба Витальевича, д-ра техн. наук, ведущего научного сотрудника лаборатории химической термодинамики кафедры физической химии ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва. Содержит вопросы и замечания: 1) Рассматриваемые в работе процессы горения протекают при относительно невысоких температурах. Хотелось бы видеть оценки характерных времен протекания основных реакций, протекающих в моделируемой системе. 2) Каким образом в термодинамической модели учитывается минеральная часть топлива? В автореферате информация об этом отсутствует.

6. Исламова Сергея Романовича, д-ра техн. наук, первого заместителя управляющего филиалом, и Михалева Игоря Олеговича, канд. техн. наук, заместителя управляющего филиалом (по технологии) ООО «Сибирский научно-исследовательский институт углеобогащения» в г. Красноярске. Содержит вопросы и замечания: 1) Из рис. 3 автореферата не очевидно, каким образом в экспериментальном стенде была реализована заявленная автором непрерывная газификация топлива. Отсутствуют и пояснения автора в отношении

того, насколько изменение высоты слоя топлива, практиковавшееся в экспериментах, влияло на достоверность результатов в контексте нестационарности процесса при выходе реактора на заданный режим работы. 2) К сожалению, в автореферате при изложении результатов экспериментов не приведены ни габариты опытного реактора, ни удельные параметры процесса: это существенно затрудняет сопоставление полученных автором опытных данных с ранее опубликованными. 3) В автореферате отсутствуют пояснения автора в отношении того, учитывалась ли теплота сгорания сконденсированных продуктов газификации в теплоте сгорания газа при расчёте химического КПД процесса. 4) Автор не приводит в автореферате обоснования выбора диапазонов значений расходов воздуха и температур, использованных в экспериментах: какие именно режимы переработки (карбонизация, газификация) изначально предполагалось охватить? 5) На стр. 13 автореферата отмечается, что в экспериментах с осиновой щепой наблюдалось отсутствие существенных изменений состава газа, несмотря на увеличение расхода воздуха в 1,5-3,5 раза, что не является типичным для слоевых газификаторов с обращённым дутьём. Следует, однако, отметить, что аналогичное протекание процесса характерно для способа газификации угля с обращённым кислородным дутьём (пат. 2345116 РФ).

7. Мурко Василия Ивановича, д-ра техн. наук, профессора, генерального директора ООО «Научно-производственный центр «Сибэкотехника», г. Новокузнецк. Содержит вопросы и замечания: 1) Следует отметить наличие в автореферате не совсем четких формулировок и неточностей. 2) Желательна более четкая формулировка параметров, входящих в уравнение баланса тепловой энергии в газогенераторе (уравнение 13). 3) Из рисунка 5 не совсем ясно к чему относится выдвинутая гипотеза, к слою в целом или индивидуальным частицам? 4) В автореферате не приведены данные о погрешности выполненных измерений и доверительные интервалы определяемых величин.

8. Терехова Владимира Викторовича, д-ра физ.-мат. наук, профессора РАН, ведущего научного сотрудника, и.о. заведующего лабораторией термо-

газодинамики ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск. Содержит вопросы и замечания: 1) Несмотря на то, что автор в начале автореферата говорит о сравнении результатов моделирования с экспериментом и данными других авторов, в дальнейшем изложении такие сравнения не приводятся. Хотелось бы видеть количественное сопоставление. 2) При описании результатов пятой главы автором выдвинуто предположение о том, что «... основные закономерности и механизмы горения одиночной частицы и частиц слоя являются общими...». Это достаточно сильное предположение. Действительно, важнейшую роль при горении и газификации в слое играет взаимодействие частиц друг с другом путем целого ряда процессов. Насколько это предположение обосновано? Следовало бы привести такой ключевой момент в автореферате. 3) При исследовании процессов горения одиночной частицы, из автореферата можно судить, что эксперименты проведены для случая частиц одного размера. Как изменятся результаты для более мелких (или крупных) частиц? Была ли сделана какая-либо попытка обобщить данные и получить критериальные зависимости?

9. Попеля Олега Сергеевича, д-ра техн. наук, доцента, главного научного сотрудника ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, г. Москва. Содержит замечание: следует отметить отсутствие в диссертации детального анализа технологий, выступающих потребителями производимых при газификации горючих газов.

10. Финникова Константина Андреевича, канд. физ.-мат. наук, доцента, доцента кафедры теплофизики ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Содержит вопросы и замечания: 1) Какие физико-химические механизмы могут обуславливать отмечаемый автором эффект максимизации химического КПД процесса (с. 15 автореферата)? Можно ли утверждать, что конструкция стенда препятствует выходу частиц угля из зоны реагирования и тем самым ограничивает выход равновесного углерода? 2) Необходимо пояснение по представленным результатам измерения темпера-



туры (рис. 4 автореферата). При приведенных значениях температуры (от 200 °С для экспериментов с щепой, от 600 °С для эксперимента с углем) газификация углерода протекать не может, тогда как из постановки эксперимента видно, что этот процесс должен протекать вплоть до выхода газа из слоя за- сыпки через колосники.

11. Савиной Марии Валерьевны, канд. техн. наук, доцента кафедры энергетического машиностроения ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань. Содержит вопрос: в работе приве- дено только одно значение высоты реакционной зоны слоя – 35 мм, возмож- но ли смещение углеродной линии из-за изменения данного параметра и как повлияет на химический КПД?

12. Пономаревой Алины Александровны, канд. техн. наук, доцента ка- федры теплоэнергетики и теплотехники, старшего научного сотрудника Международной лаборатории горения и энергетики, и Штыма Константина Анатольевича, д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой тепло- энергетики и теплотехники ФГАОУ ВО Дальневосточный федеральный уни- верситет», г. Владивосток. Содержит вопросы и замечания: 1) Какие потери тепла подразумеваются под слагаемыми  $Q_2$  и  $Q_4$  в формуле (6) на стр. 11? 2) Утверждение, представленное на стр. 16, о том, что свойства термоизоляции реактора, расход и температура подаваемого в реактор воздуха являются термодинамически равнозначными параметрами процесса газификации, представляется спорным, не обладающим достаточными доказательствами, представленными в тексте автореферата. 3) Зачем проводились опыты по полному сжиганию одиночных частиц при температуре 1200 °С, которая зна- чительно превышает экспериментально достигнутые температуры слоевой газификации (по данным, представленным в автореферате, например, на рис. 4 и стр. 20)? 4) В качестве замечания также хотелось бы указать, что в тексте автореферата отсутствует более точное описание критериев применимости разработанного модельного подхода, с указанием типов биотоплив и разно- видностей газификаторов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области горения и газификации твердого топлива, а также термодинамики; их высокой научной компетентностью и наличием публикаций в данных областях науки, способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- установлена важная закономерность протекания процесса слоевой газификации, заключающаяся в принципе максимального преобразования тепловой энергии реакционной системы в химическую энергию газа;
- определены режимы слоевой обращенной газификации, отличающиеся от традиционных, отсутствием выраженной зоны пиролиза в слое.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- предложенный в работе подход термодинамического анализа может применяться не только в исследовании газификации, но и к любым химическим процессам, термодинамическое описание которых затруднено в силу различий в составе независимых (исходных) параметров модели и опытных режимов;
- данный подход ценен не только для анализа физических опытов, но и применим при исследовании режимов, полученных численно на детальных кинетических моделях;
- в рамках подхода возможно оценить термодинамическое совершенство того или иного экспериментального режима, произвести сопоставление друг с другом режимов работы, как отдельно взятого реактора, так и нескольких реакторов, отличающихся по мощности и типу процесса;
- сведения о механизме конверсии являются базовыми и существенными для его математического моделирования, анализа, объяснения экспериментальных закономерностей и пр.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

- определены режимы нестратифицированной слоевой газификации, для которых характерна компактная реакционная зона, высокий химический КПД, низкий выход смолы и стабильность состава газа при изменении мощности реактора. Представления о различных механизмах конверсии могут стать основой прикладных НИОКР, направленных на создание нового высокоэффективного энергетического оборудования;
- прикладное значение имеет экспериментальная методика, используемая для исследования конверсии одиночных частиц.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- при проведении экспериментальных исследований использованы апробированные методики измерений и метрологически поверенные приборы.
- Результаты термодинамического моделирования прошли валидацию с использованием полученных в исследовании экспериментальных данных.
- Полученные в работе базовые данные и закономерности сопоставлялись со сведениями из открытых литературных источников.

**Личный вклад соискателя:** совместно с сотрудниками лаборатории термодинамики ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук автор участвовал в проектировании и изготовлении трех опытных стендов, осуществлении пусконаладочных работ. Автор руководил проведением экспериментов и им лично осуществлен анализ проб, составлен материальный и энергетический балансы режимов, проведены анализ и систематизация опытных данных. Автором предложен новый подход для анализа режимов газификации на множестве расчетных; выдвинута и испытана гипотеза относительно механизма слоевой конверсии топлива и предложены методы ее исследования; им создано программное обеспечение для выполнения термодинамических расчетов и осуществлены сами расчеты; обобщены результаты и подготовлены основные

публикации по выполненной работе.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки относительно обращенной газификации лигниноцеллюлозного топлива, имеющие существенное значение для развития энергетической отрасли России.

На заседании 07 июня 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Свищеву Д.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



  
Бродов Юрий Миронович

  
Аронсон Константин Эрленович

07 июня 2019 г.