

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по науке и  
стратегическим проектам

Национального исследовательского  
Томского политехнического  
университета

Степанов И.Б.

«21» 04 2023 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Обоснование параметров диспергированной древесины в качестве топлива котельных установок» выполнена в Научно-образовательном центре И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Косторева Анастасия Андреевна 18.05.1994 года рождения училась в очной аспирантуре в НОЦ И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В 2022 году Косторева Анастасия Андреевна окончила аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия.

Диплом об окончании аспирантуры по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия №107004 0024574 выдан 04 июля 2022 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

За время обучения в аспирантуре сданы кандидатские экзамены по истории и философии науки (технические науки), иностранному языку (английский). Справка о сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника №7 от 20 марта 2023 г. выдана отделом аспирантуры НИ ТПУ.

Научный руководитель:

Кузнецов Гений Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Инженерная школа энергетики, НОЦ И.Н. Бутакова.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

### Общая характеристика работы

Диссертация Косторовой Анастасии Андреевны представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены результаты экспериментальных исследований, совокупность которых можно квалифицировать как новые научные достижения в области промышленной теплоэнергетики.

Полученные экспериментальные и теоретические результаты и сформулированные выводы обладают единством изложения результатов выполненных

исследований. Оформление и стиль написания диссертации отвечают требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

#### **Актуальность темы исследования**

Одной из основных задач современной энергетики является внедрение в общий баланс производства тепловой и электрической энергии нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ВИЭ). К последним относятся ветровые электростанции и фотоэлектрические преобразователи. Но, несмотря на все декларируемые сторонниками этих ВИЭ преимущества, последние, скорее всего, в ближайшей (и в среднесрочной тоже) перспективе не станут основой энергетических систем будущего. Другими словами, фотоэлектрические преобразователи, в основном, являются поглотителями энергии, если рассматривать полный цикл «изготовление – работа – утилизация». Можно обосновано предположить, что будущее энергетики, скорее всего, – гибридная и адаптивная энергетическая система, включающая в себя традиционные (тепловые и атомные электрические станции, обеспечивающие базовую энергетическую нагрузку) и нетрадиционные (ветро-электрогенераторы, солнечные батареи или более экзотические – приливные ГЭС) источники энергии. Главным элементом такой системы должны быть высокоёмкие энергонакопители. Но в настоящее время таких накопителей электрической энергии почти нет, а эффективность работы функционирующих очень мала. Более того, нет надежного научного задела для создания мощных накопителей электрической энергии не только в ближайшие годы, но и в среднесрочной перспективе. В этой связи более перспективным (а может и самым перспективным) возобновляемым источником энергии является биомасса (отходы деревопереработки и сельского хозяйства, а также лесной горючий материал). Древесная биомасса имеет несколько вполне очевидных значимых преимуществ, как по сравнению с традиционными энергоносителями (уголь или нефть), так и с ветрогенераторами и солнечными батареями. Во-первых, древесина является единственным углерод-нейтральным топливом. При ее сжигании формируется диоксид углерода, который не нарушает общего баланса  $\text{CO}_2$  в мировом геохимическом цикле углерода. Во-вторых, древесная биомасса является относительно дешевым источником энергии: древесина различных видов и пород произрастает практически во всех (за исключением Антарктики и пустыни Атакама) регионах планеты. Соответственно, можно обосновано предположить, что более активное внедрение в энергобаланс древесной биомассы приведет к сглаживанию ценовой «турбулентности» на основных мировых торговых площадках, на которых торгуются энергоносители. В-третьих, (очень важное преимущество), древесная биомасса, как правило, практически не содержит серы (во всяком случае много меньше чем у углей). Соответственно, при ее сжигании образуется значительно меньше по сравнению с углями  $\text{SO}_x$ . Также по результатам экспериментальных исследований установлено, что при совместном сжигании угля с биомассой существенно снижаются концентрации оксидов азота и серы в дымовых газах таких смесей по сравнению с процессами горения однородного угля.

По этим причинам обоснование возможности эффективного сжигания частиц древесной биомассы по результатам проведения систематических экспериментальных исследований процессов зажигания и горения частиц древесины в представляющем интерес для практики диапазоне изменения размеров и форм последних является важной и нерешенной пока задачей современной теплоэнергетики.

**Связь работы с научными программами и грантами.** Диссертационные исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 18-79-10015-п «Разработка основных элементов теории процессов термической

подготовки, воспламенения и горения смесевых топлив на основе угля и древесины применительно к камерам сгорания котельных агрегатов»).

#### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации**

Автор диссертации провела планирование и подготовку экспериментальных исследований, выполнила эксперименты, обработку и анализ полученных результатов, оценку погрешностей, анализ и обобщение полученных результатов. Также автор проводила написание статей и подготовку докладов для выступления на конференциях. Автором сформулированы основные защищаемые результаты, положения и выводы.

#### **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

достоверность полученных результатов подтверждается оценкой систематических и случайных погрешностей. Эксперименты проводились с использованием современных средств регистрации характеристик исследовавшихся процессов с малыми методическими погрешностями. Для каждого набора исходных данных по условиям эксперимента проводилась серия минимум из 15 опытов. Определялись доверительные интервалы времен термической подготовки древесно-угольных топлив.

#### **Новизна результатов проведенных исследований**

По результатам впервые проведенных экспериментальных исследований процессов термической подготовки частиц древесины установлены основные закономерности исследовавшихся процессов (условия, механизмы и характеристики термической подготовки частиц древесины) в широких диапазонах варьирования основных значимых факторов и обоснована возможность эффективного использования диспергированной древесины в качестве топлива котельных установок.

#### **Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов**

Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации:

1. При выборе формы древесины установлено, что частицы в форме пластины зажигаются значительно быстрее частиц, выполненных в форме куба и прямоугольного параллелепипеда при этом характерный размер частиц древесины, выполненных в форме куба, не оказывает значимого влияния на характеристики и условия воспламенения.
2. Доказано, что ориентация частицы кубической формы в пространстве не оказывает влияния на характеристики зажигания.
3. При расстоянии между частицами равным или больше ее четырех характерным размерам времена термической подготовки одиночной частицы древесной биомассы и группы частиц идентичны.
4. СВЧ-нагрева ускоряет процесс термической подготовки, как сухих, так и влажных частиц древесины в условиях низкотемпературного нагрева.

#### **Апробация результатов исследования**

Основные положения и результаты диссертационных исследований докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. XVI Всероссийская школа-конференция молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики» (24-27 ноября Новосибирск, 2020);
2. XXXV Всероссийская конференция с элементами научной школы для молодых ученых «Сибирский теплофизический семинар» (27-29 августа Новосибирск, 2019);

3. VIII Всероссийская научная конференция с международным участием «Теплофизические основы энергетических технологий» (9-11 октября Томск, 2019);
4. Международная молодежная научная конференция «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования» (23-25 апреля Томск, 2019);
5. Международная молодежная научная конференция «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования» (19-21 апреля Томск, 2022).

#### **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

Результаты диссертационных исследований опубликованы в 4 печатных работах, в том числе 4 – в международных рецензируемых журналах, индексируемых базами данных «Scopus» и «Web of Science»:

*Статьи в журналах из перечня рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискания ученой степени кандидата наук:*

1. Kuznetsov G.V., Syrodoy S.V., Kostoreva A.A., Kostoreva Z.A., Purin M.V., Malyshev D.Y. Increasing the concentration of woody biomass in the furnace room according to the characteristics and conditions of ignition. Journal of the Energy Institute, 101, 256 - 276, 2022
2. G.V. Kuznetsov, S.V. Syrodoy, B.V. Borisov, Zh.A. Kostoreva, N. Yu Gutareva, A.A. Kostoreva. Influence of homeomorphism of the surface of a wood particle on the characteristics of its ignition. Renewable Energy. 203 (2023) 828-840
3. G.V. Kuznetsov, S.V. Syrodoy, Zh.A. Kostoreva, A.A. Kostoreva, D. Yu. Malyishev, N.A. Nigay, N. Yu. Gutareva. Influence of a cubic wood particle orientation in space on the characteristics and conditions of its ignition. Biomass and Bioenergy 170 (2023) 106704
4. Kostoreva A.A., Kostoreva Z.A., Rogovaya L.V., Loginov V.S. Research of heat and mass transfer processes in conditions of microwave heating of wet wood. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2017. С. 01043.

#### **Соответствие содержания диссертации избранной специальности**

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника:

Соответствует формуле специальности:

Научная специальность, объединяющая **исследования по совершенствованию промышленных теплоэнергетических систем, по разработке и созданию нового и наиболее совершенного теплотехнического оборудования**. В рамках специальности ведется поиск структур и **принципов действия теплотехнического оборудования, которые обеспечивают сбережение энергетических ресурсов, уменьшение энергетических затрат на единицу продукции, сбережение материальных ресурсов**, направляемых на изготовление теплопередающего и теплоиспользующего оборудования, **защиту окружающей среды**.

А также следующему пункту из паспорта специальности:

1. Разработка научных основ сбережения энергетических ресурсов в промышленных теплоэнергетических устройствах

**Диссертация «Обоснование параметров диспергированной древесины в качестве топлива котельных установок»** Косторовой Анастасии Андреевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника.

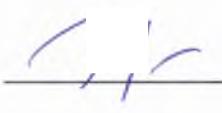
**Заключение принято** на заседании Теплоэнергетической секции Научно-технического совета Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 10 чел. – 10 очно, 0 чел. – онлайн.

Результаты голосования: «за» – 9 чел., «против» – 1 чел., «воздержалось» – 0.

Протокол №2 от «23» марта 2023 г.

Заместитель председателя  
Научно-технического совета  
Инженерной школы энергетики ТПУ,  
д. ф.-м. н., профессор НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ  
ТПУ

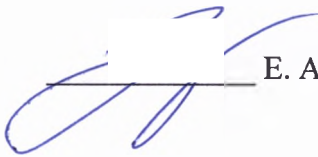
 Б. В. Борисов

Секретарь Научно-технического совета  
Инженерной школы энергетики ТПУ

 С.В. Филимонова

Подписи Борисова Б. В. и Филимоновой С. В. Заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ТПУ

 Е. А. Кулинич