

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Шторка Сергея Ивановича на диссертацию Пузырева Михаила Евгеньевича на тему: «Разработка котельно-топочной техники для утилизации растительных отходов», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

### **1. Актуальность темы**

Ограниченность запасов ископаемого топлива ставит перед человечеством задачу расширения использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Наряду с солнечной, ветро- и гидроэнергетикой важная роль в мировом энергетическом балансе отводится такому возобновляемому ресурсу как биомасса, которая либо специально выращивается, либо производится как отходы деревообрабатывающих или сельхозпредприятий. Следует заметить, что применение биомассы для производства энергии относится к углеродно-нейтральной технологии. При этом, если в случае целенаправленного выращивания биотоплива возникают проблемы социального характера, связанные с сокращением производства продовольствия и, соответственно, роста цен на продукты питания, то вовлечение в топливно-энергетический баланс горючих растительных отходов, наоборот, решает социально значимые задачи ликвидации экологически вредных и пожароопасных свалок. В данном контексте, представленная к защите диссертационная работа Пузырева М.Е., направленная на развитие ресурсосберегающего применения отходов сельхозпроизводства в качестве биотоплива, является, безусловно, актуальной.

### **2. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна**

Достоверность полученных результатов диссертации обеспечивается комбинированием различных подходов в исследованиях, включая расчеты на

основе нормативных методик, моделирование и натурные опыты, а также многолетней успешной эксплуатацией энергетических установок, в которых реализованы разработанные рекомендации.

Научная новизна состоит в дополнении нормативной методики теплового расчета применительно к использованию подсолнечной лузги, определение оптимальных геометрии и технологической схемы, включая профиль топочной камеры, расположение дутьевых сопел и подачи топлива, устройство выходного пережима, для инновационного низкотемпературного сжигания биотоплива в топках «Торнадо», дополнительного усовершенствования котельно-вспомогательного и газоочистного оборудования, разработки рекомендаций для повышения КПД и надежности работы энергетической установки.

### **3. Практическая значимость работы**

На основе результатов проведения исследований разработаны и внедрены на практике новые технические решения по усовершенствованию технологии вихревого сжигания «Торнадо» для утилизации растительных отходов, а также улучшения систем очистки дымовых газов, что позволяет существенно улучшить экологические показатели энергетической установки. Полученные технические решения защищены большим количеством патентов. Успешный опыт промышленной эксплуатации подтвержден актами о внедрениях.

### **4. Оценка содержания диссертации и ее завершенности**

Диссертация Пузырева М.Е. включает в себя введение, 4 главы, заключение, список использованной литературы (153 источника) и приложения (акты о внедрениях и патенты). Объем диссертации 232 страницы, в том числе 115 рисунков и 25 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, дана формулировка цели и задачи работы, представлены научная новизна, практическая значимость полученных результатов и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор текущего состояния проблемы применения возобновляемых источников энергии. Отмечается важная роль биомассы в виде растительных отходов как возобновляемого топливного ресурса, проанализирован имеющийся уровень технологий сжигания отходов сельхозпроизводства. Представлен обзор теплотехнических характеристик лузги, обозначены проблемы при ее сжигании в традиционных топочных устройствах, связанные с выносом недогоревших частиц топлива и шлакующими свойствами золы. Поставлены задачи разработки новых топочных устройств для организации их безостановочной работы, обеспечивающей экономически выгодную и экологически чистую утилизацию отходов сельхозпроизводства типа лузги.

Во второй главе представлены предпосылки создания и принципы работы вихревой технологии «Торнадо». Показаны пути модернизации вихревых топок для преодоления проблемы уноса частиц топлива с высокой парусностью. Продемонстрирована определяющая роль диафрагмирования выхода (установка пережима) из вихревых топок, обеспечивающего стабильность и эффективность действия вихревого движения для удержания и полного выгорания топливных частиц, а также организации низкотемпературного вихревого сжигания для предотвращения шлакования вследствие плавления и возгонки золы. Предложены оптимальные конструкции газоотводящего окна с подачей третичного дутья.

В третьей главе описаны причины и механизмы формирования отложений золы в котлах, работающих на лузге. Выявлен сублимационно-десублимационный механизм переноса и формирования отложений. Предложены способы и устройства для предотвращения образования отложений и очистки поверхностей нагрева.

Четвертая глава убедительно показывает практическую значимость полученных результатов и высокую степень завершенности проделанной работы. Всего на основе результатов работы было разработано и изготовлено более 50 котлов с низкотемпературными вихревыми топками для сжигания

лузги. Помимо этого, разработано и внедрено специализированное вспомогательное оборудование для надежной работы котлов.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам исследований.

#### **5. Апробация работы и публикации**

По результатам исследований подготовлены и опубликованы 47 печатных работ, в том числе 6 статей в журналах из перечня ВАК (Электрические станции, Ползуновский вестник, Известия Томского политехнического университета, Энергетик), получено 22 патента на изобретения и полезные модели. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 11 профильных конференциях различного уровня в Барнауле (2007, 2008, 2009, 2017), Челябинске (2011), Новосибирске (2012, 2015, 2021), Екатеринбурге (2013), Москве (2020).

#### **6. Личный вклад автора**

В диссертации ясно обозначен конкретный личный вклад соискателя в представленные результаты. В качестве места выполнения работы указаны 2 организации – Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) и ООО «ПроЭнергоМаш-Проект» (г. Барнаул). Автор внес определяющий вклад в планирование и проведение лабораторных опытов и натурных теплотехнических испытаний, в планирование и проведение натурных испытаний для уточнения методики теплового расчёта котлов, в разработку и патентование новых технических решений, в анализ и обобщение результатов опытов и испытаний, в составление рекомендаций для конструирования оборудования энергетических установок, в усовершенствование конструкций паровых котлов с топками «Торнадо» и котельно-вспомогательного оборудования энергетических установок. Лабораторные опыты и моделирование выполнялись лично соискателем в АлтГТУ. Теплотехнические испытания оборудования и разработка конструкторской документации выполнялись совместно с сотрудниками

ООО «ПроЭнергоМаш-Проект». Постановка задач выполнялась совместно с научным руководителем.

## **7. Замечания и комментарии по диссертационной работе**

1. Вихревые потоки характеризуются наличием различного вида неустойчивостей, таких как прецессия вихря или распад вихря. Используемая в работе конструкция вихревой топки с диафрагмой (пережимом) должна создавать течение в виде интенсивного торнадоподобного вихря с концентрированной вблизи оси завихренностью. Как отмечается в литературе, именно такие вихревые структуры часто являются источником выраженных нестационарных эффектов, оказывающих сильное влияние на рабочие процессы в вихревых устройствах (например, циклонов). Однако, в диссертации данный аспект не рассматривается.

2. В диссертации упоминается про лабораторное моделирование, однако практически не приводится информация как оно осуществлялось (какие лабораторные стенды, методы измерений использовались, какие были погрешности измерений, как производилась обработка данных).

3. Также ограничена приведенная информация по методике численного моделирования.

4. Стр. 56, «При их сжатии пережимом, кинетическая энергия потока сохраняется и поэтому скорость вращения возрастает.» - Здесь видимо имеется ввиду сохранение углового момента, за счет чего происходит увеличение тангенциальной скорости при уменьшении радиуса.

5. На стр. 93 приведены «рациональные соотношения для вихревых топок «Торнадо»», включающие лишь относительные геометрические размеры. Видимо здесь необходимо указать диапазон допустимых скоростей входящих потоков, с учетом регулирования нагрузки котлов.

6. Диссертация в целом хорошо оформлена, грамотно написана и вполне удобочитаема, хотя в тексте присутствует некоторое количество

опечаток и стилистических неточностей, например, на стр. 6, 7, 16, 17, 25, 27, 29, 30. Т.е. 1 опечатка на 3-4 страницы текста, что не является критичным для понимания содержания.

#### **8. Соответствие диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.**

Диссертация М.Е. Пузырева является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором комплексных исследований, включающих расчеты на основе нормативных методик, математическое и лабораторное моделирование, промышленные испытания, сформулированы новые научно-обоснованные технологические решения, направленные на развитие ресурсосберегающего применения отходов сельхозпроизводства для производства энергии.

Работа, имеющая важное экологическое, экономическое и социальное значение, обладает внутренним единством, логически построена, включает все основные этапы научного исследования от обзора состояния вопроса до практической проверки разработанных решений. Последнее подтверждено приложенными актами внедрения.

Диссертация содержит ссылки на источники заимствования и на работы других авторов. Участие в работе соавторов явным образом определено. В части результатов, выводов и основных положений, выносимых на защиту, личный вклад соискателя является определяющим.

#### **9. Заключение**

Диссертация М.Е. Пузырева является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена имеющая важное экологическое, экономическое и социальное значение задача ресурсосберегающей утилизации отходов сельхозпроизводства.

Содержание автореферата соответствует содержанию рукописи диссертации. Результаты работы достаточно опубликованы в рецензируемых научных изданиях, материалах конференций и патентах.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Пузырева Михаила Евгеньевича «Разработка котельно-топочной техники для утилизации растительных отходов» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.04.2013 №842 (ред. от 25.01.2024), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук

(01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника),

старший научный сотрудник, заведующий Лабораторией проблем теплопереноса Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)

Шторк Сергей Иванович

28.02.2025

630090, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, 1

Тел./факс: (383)333-10-94/330-84-80

Е-мэйл: [shtork@itp.nsc.ru](mailto:shtork@itp.nsc.ru)

Подпись С.И. Шторка заверяю:

к.ф.-м.н. М.С. Макаров,

ученый секретарь ИТ СО РАН

Тел.: (383)330-60-44

Е-мэйл: [sci\\_it@itp.nsc.ru](mailto:sci_it@itp.nsc.ru)

*С отзывом ознакомлен 03.03.2025 - 7 -*  
*М.Е. Пузырев*

*Лоскутин*  
*З. секретарь ДС*  
*03.03.2025 г.*  
*В.В. Корюнов*