

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук Зройчикова Николая Алексеевича на диссертацию Литуна Дмитрия Степановича **«РАЗРАБОТКА МЕТОДА ТЕПЛОВОГО РАСЧЁТА ТОПОК КОТЛОВ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ ДЛЯ СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ НА ТЭС»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности: 05.14.14.- «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Тема диссертационной работы Литуна Д. С. представляет значительный интерес в области технологии сжигания биомассы в кипящем слое (КС) и создания нового оборудования для ТЭС на нетрадиционных топливах. является существенным вкладом в развитие этих направлений. В работе обобщены результаты теоретических и промышленных исследований по различным аспектам использования технологии пузырькового КС для сжигания биомассы, с разработкой полуэмпирического метода теплового расчёта топочных устройств котлов с КС. Наибольшее внимание уделено ключевым вопросам влияния распределения тепловыделения топлива между слоем и надслоевым пространством на температурный режим топок с КС на биомассе, основным режимным факторам, характеризующим работу топочного устройства, а также вопросам уноса горючих из слоя с учётом фрагментации частиц.

Актуальность диссертационной темы

Актуальность избранной диссертантом темы связана с возрастающим интересом к использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) во всём мире и значительным местом, которая биомасса занимает в мировой структуре потребления на основе ВИЭ. Тема работы является актуальной и потому, что сжигание в КС обеспечивает высокий КПД котла, позволяет сжигать топливо с высокой влажностью при минимальных выбросах оксидов азота и серы и является наиболее широко применяемой в России для

использования биотоплива на ТЭС. Этим, на мой взгляд, определяется актуальность и логика выбора темы диссертации. В условиях растущей потребности в оборудовании для ТЭС на биомассе и отсутствия апробированных методов теплового расчёта топок с КС, учитывающих специфику сжигания биомассы, актуальность выполненных Литуном Д.С. исследований сжигания биомассы в КС и разработка нового метода теплового расчёта топок с КС с учётом свойств биотоплив и особенностей их сжигания не вызывает сомнений.

Содержание работы

Представленная диссертация содержит введение, четыре главы, заключение, список использованной литературы. Текст изложен на 199 машинописных страницах. В диссертации имеется 35 рисунков и 26 таблиц. Список использованной литературы включает в себя 192 наименования.

В главе 1 приведен обзор литературных данных по исследованиям гидродинамики и тепломассообмена в КС. Представлены сведения о конструкциях топочных устройств и основных научно-технических проблемах сжигания биомассы в котлах с КС. Путём обобщения опыта и исследований в области сжигания биомассы в КС обоснована необходимость учёта при проектировании топочных устройств с КС специфических особенностей сжигания биомассы: распределения тепловыделения топлива по высоте топки, теплообмена между надслоевым пространством и КС, влияния фрагментации частиц топлива на унос и механический недожог в КС. Показано, что в настоящее время отсутствуют методы теплового расчёта, учитывающие эти особенности сжигания биомассы в КС. Сформулированы цель и задачи исследования.

В главе 2 представлены положения разработанной модели теплового расчёта топочного устройства с КС, включающие в себя: выбор и обоснование трёхзонной схемы расчёта, тепловой баланс псевдоожигенного

слоя и зон надслоевого пространства, методика и уравнения для расчёта теплоотдачи к поверхностям нагрева в слое и теплообмена излучением в надслоевом пространстве, а также уравнения для расчёта температур по зонам топки. Предложено два способа расчёта тепловыделения в зоне кипящего слоя: на основе доли тепловыделения топлива и с использованием метода отдельного учёта тепловыделения летучих и коксового остатка топлива. На основе разработанной модели уноса фиксированного углерода и золы топлива из слоя с процесса фрагментации предложен полуэмпирический метод расчёта потери тепла с механической неполнотой сгорания в слое.

В главе 3 представлены результаты промышленных исследований сжигания коро-древесных отходов (КДО) в котле КМ-75-40М ТЭС-3 Архангельского целлюлозно-бумажного комбината (АЦБК). Дана общая характеристика объекта исследования и опыта первых пусков котла. Приведены опытные данные по влиянию скорости псевдоожижения, гранулометрического состава материала слоя, числа псевдоожижения и расхода первичного воздуха на температурный режим КС. По результатам опытов на котле КМ-75-40М выполнена оптимизация температуры слоя и режимных параметров котла при сжигании КДО. Получены данные по тепловым балансам котла и топочного устройства для расчётного определения долей тепловыделения в зонах топки. Изучено влияние дренажа и добавки свежего песка на температурный режим работы КС и разработаны рекомендации по периодичности и последовательности технологических операций. Представлена методика и результаты экспериментального определения доли уноса золы топлива из зоны КС при сжигании КДО.

Четвёртая глава посвящена расчётной обработке, анализу, обобщению и апробации результатов исследований. Приведены методики и результаты определения максимального диаметра фрагментированных частиц топлива и долей тепловыделения топлива в зонах топки котла КМ-75-40М, а также доли тепловыделения летучих топлива в зоне КС в опытах на КДО.

Выявлены основные факторы, влияющие на доли тепловыделение топлива и летучих топлива в КС при сжигании КДО. Статистической обработкой результатов промышленных опытов получены эмпирические зависимости для расчёта долей тепловыделения в зоне КС и выполнен анализ их достоверности и надёжности с использованием критериев математической статистики. С целью апробации аппроксимирующих зависимостей, полученных расчётной и статистической обработкой результатов измерений, и разработанного трёхзонного метода теплового расчёта выполнены поверочные тепловые расчёты топок котлов КМ-75-40М АЦБК и Е-75-3,9-440ДТФ Братского лесопромышленного комплекса для режимных условий проведённых промышленных опытов с использованием разработанной программы. Сопоставление результатов расчётов с измерениями показывает хорошее соответствие расчётных и измеренных значений температур в КС и на выходе из топки.

Оценивая работу в целом, необходимо отметить следующее: **работа обладает научной новизной, теоретической и практической значимостью.** Среди наиболее важных результатов, обладающих новизной, необходимо отметить экспериментальные данные по значениям долей тепловыделения топлива в зонах топки и полученные на их основе эмпирические зависимости для определения значений долей тепловыделения КДО и летучих топлива в зоне КС. Автором работы впервые разработан полуэмпирический метод теплового расчёта топки с КС для сжигания биомассы, учитывающий распределение тепловыделения топлива и теплообмен между зонами топочного устройства. Предложен оригинальный подход к определению тепловыделения топлива в КС, основанный на разделении тепловыделения летучих и коксового остатка топлива, позволяющий учесть влияние его свойств и режимных параметров топочного устройства. Впервые для расчёта уноса и потерь тепла с механическим недожогом в зоне КС предложен полуэмпирический метод, учитывающий фрагментацию частиц биомассы в процессе нагрева и выхода

летучих. Интерес представляют также полученные автором аналитические выражения для расчёта минимального эквивалентного диаметра частиц топлива, выгорающих в слое полностью, и среднего диаметра частиц золы-уноса из слоя. Приведенные результаты являются дополнительным вкладом в формирование физических представлений о процессах сжигания биомассы в КС. В прикладном отношении разработанные метод и программа теплового расчёта топки с КС, полученные экспериментальные данные и расчётные зависимости в совокупности создают основу для совершенствования конструкций топочных устройств котлоагрегатов ТЭС на биомассе и способствуют повышению эффективности и надёжности их эксплуатации.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 16 печатных работах, из них 6 в рецензируемых научных изданиях по списку ВАК. Кроме того, они широко обсуждались на 7 международных научных конференциях.

Обоснованность выводов и научных положений, полученных результатов не вызывает сомнений. Основные научные положения диссертационной работы базируются на экспериментальных данных и общепринятых теоретических подходах, характерных для этого направления теплотехники. Выводы и рекомендации работы являются достаточно обоснованными.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием известных положений фундаментальных наук, сходимостью полученных расчётных результатов с промышленными исследованиями, сопоставлением с данными исследований других авторов, а также выполненной автором оценкой погрешностей измерений в промышленных исследованиях.

Автореферат полностью соответствует содержанию работы. Текст диссертации аккуратно оформлен, приведенный графический материал достаточно полно иллюстрирует изложение. Представленная на защиту диссертация является самостоятельной, завершённой работой, которая

отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук/

Основные замечания по работе

1. Общий объём диссертации избыточен. Можно было бы сократить объём сведений и литературных источников по гидродинамике слоя в главе 1 и разделы посвящённые характеристике объекта исследования и описанию результатов промышленных исследований в главе 3.
2. Среди ссылок на литературные источники преобладают работы, опубликованные до 2000 г. Создается впечатление, что автор недостаточно использовал результаты исследований, выполненных в последнее время.
3. В главе 2 при анализе склонности КДО к фрагментации частиц приводится анализ сведений из открытых источников и прогноз значения критического диаметра КДО на основе его зависимости от коэффициента сопротивления пор (КСП) и данных о связи между КСП и содержанием углерода на сухую массу. В результате прогнозируемое значение критического диаметра для КДО оказывается выше, чем у каменных углей. Это противоречит приведённым в главе 1 сведениям о том, что больший выход летучих способствует большей склонности топлива к фрагментации.
4. В параграфе 4.1 представлены результаты расчётов среднего по массе диаметра частиц уноса золы для режимных условий опытов на основании максимального диаметра фрагментированных частиц кокса $d_{\text{fr}}^{\text{max}} = 1,53$ мм. Сделан вывод об удовлетворительном соответствии расчетных значений данным ситового анализа пробы летучей золы. Целесообразно дать ссылку на п. 3.4.6, где приводится значение по данным ситового анализа, либо привести это значение.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки основных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы.

Заключение

В диссертационной работе Литуна Д. С. решена научная проблема, имеющая важное значение в области сжигания биомассы в кипящем слое и создания нового оборудования ТЭС на нетрадиционных топливах. Рассмотренная диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, содержит ряд новых научных и методических положений и выводов, а также имеет высокую практическую значимость. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне с применением современных методов научных исследований.

По мнению оппонента диссертация Литуна Д.С. является завершенной научно-квалификационной работой, Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (п.9), а ее автор, Литун Дмитрий Степанович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14.- «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор, Заместитель
генерального директора АО «Энергетический институт
им. Г. М. Кржижановского»;

117927, г. Москва,

Ленинский проспект, д.19

e-mail: zna@eninnen.ru

тел. +7(495)770-36-70

Подпись Н.А. Зройчиков



Н. А. Зройчиков

М.А. Зойчиков / М.А. Зойчиков
Руководитель отдела
управления персоналом
23.10.2014.