

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Рябова Георгия Александровича «Научное обоснование использования технологии сжигания твёрдых топлив в циркулирующем кипящем слое», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

На сегодня в мире наибольший вклад при реконструкции и строительстве тепловых электростанций вносят котлы с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС), так как они универсальны по кругу применяемых топлив и в наибольшей мере отвечают ужесточающимся экологическим требованиям, и поэтому, безусловно, тема диссертации актуальна. При этом важно и актуально представленное в ней комплексное исследование процессов гидродинамики элементов и собственно топочных контуров, теплообмена, улавливания и возврата частиц, условий образования и подавления вредных выбросов, включающее разработку обоснованного метода расчета котлов с ЦКС.

Целью диссертационной работы является обоснование научных и методических основ для разработки котлов ЦКС с минимальными вредными выбросами, и для реализации поставленной цели автором проведен комплекс экспериментальных и расчетно-аналитических исследований, включая разработку методик, программ расчетов топочных процессов и технико-экономические обоснования технологии ЦКС.

В обзоре дан анализ состояния технологии кипящего слоя и ЦКС. На сегодня в мире эксплуатируется более 3000 котлов, с наибольшим прогрессом в Китае и Польше. Установленная мощность блоков с ЦКС составляет 102 ГВт, причем максимальная паропроизводительность котлов достигла 1065 т/ч. Большое внимание автор уделил рассмотрению вопросов гидродинамики, теплообмена, влияния эффективности улавливания, организации возврата циркулирующих частиц в топку ЦКС и работы пневматических клапанов. Следует отметить, что в работе проанализировано и использовано значительное количество материалов из 276 литературных источников, из них 56 выполнено с участием автора.

В итоге обзора автором была выявлена необходимость и поставлена задача разработки методик расчета, как для элементов, так и котлов с ЦКС в целом, причем включая принципиально новые установки на основе ЦКС и кипящего слоя, например, для применения топлив в химическом цикле и в циклах полигенерации. При этом полагается, что методы расчета должны базироваться не только на собственных исследованиях и обобщении литературных данных, но и на верификации расчетных моделей с использованием имеющихся опытных данных, полученных на действующих котлах с учетом влияния режимных и конструктивных факторов и при сжигании различных видов топлив, в том числе биомассы и отходов. Для выявления наиболее эффективных вариантов использования технологии ЦКС предложено выполнять технико-экономическое сравнение эффективности применения блоков с ЦКС и использование пылеугольных котлов, причем с учетом влияния качества топлива и экологических ограничений.

Во второй главе описаны стенды, приборная база для проведения экспериментов и рассмотрены исследования гидродинамики топки, выполненные на изотермических «холодных» моделях с ЦКС с циклоном и сепаратором швеллеркового типа и L клапаном. Выявлены и обобщены профили концентрации и плотности потока циркулирующих частиц по высоте и в различных сечениях в установках, показана определяющая роль эффективности улавливания частиц в сепараторах на организацию работы ЦКС.

В третьей главе рассмотрен кондуктивный теплообмен к настенным экранам. Он изучался экспериментально в процессе длительных опытов с применением датчиков локального теплообмена. Для расчета теплообмена к настенным экранам в топке котла с ЦКС была предложена полуэмпирическая методика, основанная на газокINETической модели, учитывающая концентрацию частиц в пристенной зоне.

В четвертой главе на аэродинамической установке проведены исследования сепарации циркулирующих частиц в циклонах и швеллерковых сепараторах. Подтверждена

возможность улавливания более 99,9 % частиц сильно запыленных потоков и разработаны рекомендации по оптимизации конструкции для этих типов уловителей.

В последующих главах автором обобщены исследования условий движения потоков частиц в опускных стояках и пневмозатворах, выполнены теоретические и экспериментальные исследования гидродинамики систем со связанными реакторами с кипящими и циркулирующими слоями для установок, использующих топлива в химических циклах и полигенерирующих системах. Изучены вопросы агломерации слоя при сжигании кородеревесных отходов и возможность улавливания  $CO_2$  в химических циклах.

На базе комплексных исследований гидродинамики, теплообмена, улавливания и возврата частиц с учетом данных по условиям горения различных топлив, генерации и подавления вредных выбросов впервые в России автором разработана методика конструкторского расчета топочного контура котлов с ЦКС. Эта методика использована при разработке компьютерной программы расчета и применена при разработке отечественных котлов с ЦКС для блоков различной мощности. Определены условия наиболее эффективного применения этой технологии ЦКС для технического перевооружения ТЭС России.

В качестве замечания следует отметить, что данная методика представлена не как типовые «Нормы теплового расчета...», а в неявном виде, без привычных номограмм, подробных инструкций, иллюстраций и др., что не снижает достоинств рассматриваемой работы, охватывающей большой круг вопросов и проблем создания котлов ЦКС.

Считаем, что диссертация вносит весомый вклад в развитие тепловых электрических станций, выполнена на актуальную тему, имеет научную новизну и большую практическую значимость, отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Рябов Георгий Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Доктор технических наук, профессор кафедры котло- и реакторостроения ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», зам.директора по научной работе ООО «ПроЭнергоМаш-Проект»  
Руководитель группы  
ООО «ПроЭнергоМаш-Проект», к.т.н.

Пузырёв  
Евгений  
Михайлович  
Голубев  
Вадим  
Алексеевич

Подписи д.т.н., профессора Пузырева Е.М. и к.т.н. Голубева В.А. удостоверяю:

Директор ООО «ПроЭнергоМаш-Проект»  
(656905, г. Барнаул, проезд Южный, 17а)  
[rem-energo@list.ru](mailto:rem-energo@list.ru), +7(3852)505-135



М.Г. Ларионова

« 24 » октября 2016 г.