

ОТЗЫВ

официального оппонента Иванова Сергея Анатольевича
на диссертацию **Штыма Константина Анатольевича**
на тему "Совершенствование циклонно-вихревой
технологии сжигания топлива"

по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика
на соискание учёной степени доктора технических наук

Актуальность темы обусловлена проблемой модернизации теплоэнергетического оборудования, повышения эффективности его работы, как одного из приоритетных направлений совершенствования энергетики России, предусмотренной стратегией ее развития до 2030 г. и «Комплексной программой развития электроэнергетики Дальневосточного федерального округа до 2025 г.», разработанной в соответствии с поручением президента РФ.

Особую актуальность рассматриваемая работа имеет для дальневосточных регионов России. В силу специфики региона, основой энергетики ДФО являются ТЭЦ, на которых доля износа основного оборудования составляет в среднем 60-70 %. Котельный парк тепловых электростанций включает паровые котлы от 670 т/ч (БКЗ-670) до 25 т/ч (ДЕ-25), водогрейные - от 180 Гкал/ч (ПТВМ-180) до 50 Гкал/ч (ПТВМ-50). Кроме того, более 2500 котельных обеспечивают теплоснабжение и промышленное производство. Котлы имеют низкую экономичность, так как предназначенные для сжигания угля, из-за изменения в топливной политике региона, частично переведены на сжигание жидкого топлива, а затем на сжигание газа. Поэтому в энергетике Дальнего Востока особую актуальность приобретает модернизация установленного котельного оборудования с внедрением инновационных технологий сжигания топлива и когенерации. Совершенствование технологии сжигания топлива в циклонно-вихревых предтопках (ЦВП), является одним из направлений в решении этой задачи. При этом повышается эффективность сжигания топлива, достигается снижение выбросов вредных веществ и продление ресурса эксплуатации котельных агрегатов за счет применения усовершенствованной технологии ЦВП, в которых генерируется концентрированное вихревое движение, и заключающейся в комплексной оптимизации параметров котельной установки.

Общее содержание работы. Материалы диссертации изложены на 304 страницах основного текста, включающего 241 рисунок и 18 таблиц. Работа состоит из введения, 8 глав, основных выводов и рекомендаций, списка использованных источников из 136 наименований и приложения.

В первом разделе диссертации дается краткая характеристика основ циклонно-вихревой технологии и попыток их реализации в отечественной и зарубежной энергетике. Сделан вывод о принципиальных недостатках водоохлаждаемых циклонных предтопков, сложной конструкции, малой надежности в работе, а также имеющих значительное аэродинамическое

сопротивление. Примечательно, что на кафедре «Теплоэнергетики и теплотехники» ДВФУ рассматривалось также сжигание топлива, использующее разомкнутое вихревое движение в объеме топки. По мнению диссертанта, оно менее перспективно по сравнению с концентрированным вихревым движением, реализуемым в циклонных предтопках.

В завершение первого раздела поставлена задача по разработке конструкции воздухоохлаждаемого циклонного предтопка, приемлемого при модернизации котельных установок с повышением эффективности и экологичности их работы.

Известно, что вихревое движение в природных условиях и технических устройствах имеет очень сложную, аэродинамическую структуру, которая предопределяет протекание технологического процесса в вихревой камере, в том числе и сжигания топлива.

Во втором и третьем разделах диссертационной работы последовательно и весьма обстоятельно излагаются особенности аэродинамики вихревой цилиндрической камеры, имеющей диафрагму (пережим) для стока среды в основной объем топки. Поскольку аналитическое решение исходных уравнений не представляется возможным, то избран полуэмпирический подход к нахождению осредненных расчетных параметров закрученного потока в объеме вихревой камеры. Во втором разделе, исходной для обобщения и сопоставления опытных данных с расчетными, избрана идеальная модель вихревой камеры (без стока), на которую, в третьем разделе, делаются соответствующие ссылки по расчетным параметрам в реальной вихревой камере. Методика аэродинамического расчета предтопков базируется на обобщении в безразмерном виде опытных данных различных авторов, которые существенно дополнены диссертантом при исследовании потока на входе в камеру и влияние на его структуру комбинированного ввода окислителя топлива.

Диссертант не ограничивается простыми эмпирическими зависимостями для оценки пристенного течения и потери механической энергии на входе в вихревую камеру, которых вполне достаточно для инженерных расчетов предтопков. Им выявлены особенности формирования закрученного потока в пристенной зоне, его своеобразная неустойчивость в пограничном слое и возможность расчета развития входящего в камеру потока, как полуограниченной струи. Получено и подтверждено математическим моделированием оптимальное условие входа потока, дающее минимальные потери энергии.

В третьем разделе диссертации излагается подход к расчету осредненных параметров в турбулентном ядре вихревой камеры, приводятся полученные расчетные зависимости и их сопоставление с опытными данными. Специфика расчета сводится к градиентной зависимости касательного напряжения трения и турбулентной вязкости, как функции непрерывного изменения циркуляции скорости от границы ядра до оси камеры. Основой расчетных зависимостей является аппроксимация для циркуляции скорости, обобщающая экспериментальные данные по

тангенциальной ее составляющей, достоверность которой в измерениях наибольшая. Такой подход позволил основные условия генерации вихря в циклонном предтопке свести к численному значению формпараметра m .

Следует заметить, что такая методика аэродинамического расчета, известная как «методика ЛПИ-ДВПИ» была успешно применена в докторских диссертациях Сабурова Э.Н., Латкина А.С., Юдакова А.А. и др. для расчета циклонно-вихревых камер с совершенно другими условиями генерации вихревого движения и технологического назначения камер.

Комбинированный ввод воздуха от одного нагнетателя и использование приосевой эжекции, позволил диссертанту решить задачу по снижению аэродинамического сопротивления предтопка.

В четвертом разделе диссертации приводятся результаты стендовых огневых испытаний циклонного предтопка, сконструированного на основе аэродинамических исследований. Предложен оригинальный многосопловой центробежный распыл жидкого топлива. Измерениями температуры по сечениям предтопка показана эффективность пристенной воздушной завесы, что упрощает обмуровку вихревой камеры. Исследованиями и математическим моделированием подтверждено главное достоинство в предложенном совершенствовании циклонно-вихревой технологии, что принципиально дополняет «схему Кнорре», в которой активно для смесеобразования и сжигания топлива используется только выходная часть предтопка (см. рис. 1.3 на стр.18).

Опыт внедрения совершенно логично начинается сравнением «горелочного» и «вихревого» сжигания мазута в сопоставимых промышленных условиях. Достоинства предвключения предтопка очевидны и подтверждаются результатами испытаний.

Вторая часть диссертации (пятый, шестой, седьмой и восьмой разделы) представляют наибольший интерес для практической (промышленной) энергетики. Опыт внедрения циклонных предтопков на паровых и водогрейных котлах рассмотрен отдельно, с учетом специфики котельных установок.

Диссертант обстоятельно излагает модернизацию парового котла ДЕ-25 и делает вывод о нецелесообразности установки предтопков к котлам малой теплопроизводительности. Воздушное охлаждение предтопков позволяет заменить в котельных установках воздухоподогреватели на дополнительные экономайзеры и даже сделать котел паро-водогрейным (БКЗ-75). Замена горелочных устройств на меньшее число предтопков дает возможность более рационально использовать объем топки, разместив дополнительные поверхности нагрева.

Исследованы различные варианты компоновки предтопков и отдано предпочтение их встречному расположению на боковых поверхностях топки с разводкой экранов под амбразуру вихревой камеры. Из опыта наладки уделено внимание очистке поверхностей нагрева, запальным устройствам, сопряжению вихревой камеры с экранами и другим вопросам, имеющим практическую ценность при наладке и эксплуатации циклонных предтопков.

В седьмом разделе диссертации рассматриваются особенности теплообмена в топке котла с предвключением к ней одного или нескольких предтопок. Показаны особенности развития факела, приводящие к изменению его эмиссионных свойств, увеличению конвективного теплообмена и даны численные поправки в известную критериальную зависимость для теплового расчета топки, взятого за основу из «Нормативного метода».

Правомерность поправок подтверждена испытаниями модернизированного котла ПТВМ-30 со значительным увеличением его теплопроизводительности.

В восьмом разделе диссертации обобщен опыт внедрения всех котлов, реконструированных с установкой к ним циклонных предтопок. Даны рекомендации общего характера и конкретная последовательность выбора числа и конструктивных характеристик предтопок. Приводится расчет осредненных параметров закрученного потока в объеме вихревой камеры.

Диссертантом также уделено внимание снижению вредных выбросов (оксидов азота) при сжигании мазута и газа. Наряду с двухступенчатым сжиганием топлива, организация смесеобразования и горения топлива в вихревой камере с двумя зонами эжекции, дает существенное снижение NO_x , что подтверждено опытными данными на эксплуатируемых котельных установках с циклонными предтопками.

Основные результаты диссертационной работы компактно изложены в девяти пунктах, два последних из которых подтверждены сертификатами на изготовление котельными заводами циклонно-вихревых предтопок мощностью 25, 35 и 65 МВт и актами внедрения, подтверждающими длительную эксплуатацию модернизированных котлов.

Наиболее значимые результаты диссертации. Разработаны рекомендации по применению усовершенствованной технологии циклонно-вихревого сжигания различных видов топлива для модернизации котлов, с учетом конструктивных параметров, единичной мощности, количества и компоновки предтопок, а также снижения вредных выбросов в окружающую среду.

Теоретические результаты позволили предложить методику расчета конструктивных элементов ЦВП с учетом особенностей объекта модернизации; разработать и реализовать конструкцию ЦВП повышенной надежности и большой единичной мощности; выполнить и внедрить проекты модернизации паровых газо-мазутных котлов в диапазоне мощностей от 17 до 100 МВт, а также водогрейных газо-мазутных котлов в диапазоне мощностей от 20 до 180 МВт.

Новые научные результаты, полученные автором. Установлены особенности аэродинамической структуры концентрированного вихревого движения в цилиндрической камере, которые заключаются: в наличии в пристенной зоне «потенциального кольца», сформированного многосопловым вводом; в совпадении области наилучшего смещения потоков с радиусом максимума центробежной напряженности, разделяющей

зоны избыточного давления и разрежения; в минимальном аэродинамическом сопротивлении предтопка с заданной круткой потока, при тангенциально-аксиальном вводе воздуха от общего нагнетателя.

Определены безразмерные расчетные зависимости параметров закрученного потока от турбулентной структуры, геометрии и формпараметра m в пристенной зоне ее протяженности и коэффициента сохранения скорости; в турбулентном ядре профили скорости, перепады давления, аэродинамическое сопротивление, в характерных сечениях камеры с комбинированным вводом воздуха, хорошо согласующиеся с опытными данными.

Разработана методика расчета вихревой камеры, в которой конструктивные и аэродинамические условия генерации вихря сведены к вычислению значения ее формпараметра m , входящего во все расчетные зависимости.

Предложена корректировка теплового расчета топки через параметр температурного поля M , учитывающая уменьшение степени неизотермичности среды в пристенной области, основанная на выявленных особенностях развития факелов при различной компоновке предтопков, обобщающая промышленные испытания всех модернизированных котельных установок и позволяющая проводить модернизацию с максимальной эффективностью.

Достоверность результатов работы обеспечена представительным объемом расчетов, результатов экспериментов, а также использованием методов исследования, соответствующих современному состоянию в области теоретической теплотехники, гидродинамики и подтверждается метрологическими характеристиками использованного оборудования, удовлетворительным совпадением расчетных данных с экспериментальными результатами, полученными на физических моделях и действующем промышленном оборудовании. Выводы достаточно хорошо коррелируют с результатами, полученными другими исследователями, и не противоречат физическим закономерностям в смежных областях знаний.

Результаты выполненных исследований освещены в 83 печатных работах, из них: одна монография, 15 статей в периодических изданиях из перечня ВАК, 8 - в других изданиях и за рубежом, 26 - в трудах всесоюзных, всероссийских и международных научно-технических конференций, 6 патентов на изобретения, 2 патента на полезную модель; один Государственный сертификат соответствия на продукцию.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Наиболее принципиальные вопросы и замечания по диссертационной работе:

1. В последних публикациях по вихревым камерам уделяется особое внимание явлению прецессии вихревого ядра (ПВЯ), но в диссертационной работе не анализируется это явление. Наблюдается ли ПВЯ в циклонных предтопках?

2. Почему не учитывается неизотермичность ядра потока в коэффициенте, учитывающем его турбулентную структуру (3.49, , стр. 96)

3. Требуется ли замена тяго-дутьевых устройств при модернизации котельных установок без увеличения их теплопроизводительности?

4. Диссертант является соавтором патента на циклонные предтопки для сжигания угля и имеет публикации по этому вопросу, но в диссертации отсутствует информация по этим исследованиям.

5. Каковы (по мнению диссертанта) перспективы вихревых камер с воздушным охлаждением при реализации плазменно-циклонной технологии?

Однако, отмеченные замечания не портят общего положительного впечатления от диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Штыма Константина Анатольевича соответствует специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика, имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема модернизации теплоэнергетического оборудования и повышения эффективности его работы, имеющая важное геополитическое и социально-экономическое значение для стабильного развития дальневосточных регионов России.

Актуальность темы исследований, достоверность полученных результатов, научных положений работы и личный вклад автора в разработку данной научной проблемы несомненны, автореферат и публикации по теме диссертации полно отражают ее содержание.

Диссертация соответствует требованиям п.9 "Положения о порядке присуждения учёных степеней" постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Штым Константин Анатольевич достоин присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика.

Ректор ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет»,
доктор техн. наук, профессор

С.А. Иванов

Подпись Иванова Сергея Анатольевича заверяю: начальник управления кадров ЗабГУ

 О.В. Евтушок «06» 11 2015 г.

Почтовый адрес: 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, д. 30
телефон: (3022)41-64-44; эл. адрес: rektorat@zabgu.ru