

На правах рукописи

Бетхер Татьяна Михайловна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФАКЕЛЬНО-ВИХРЕВЫХ СХЕМ СЖИГАНИЯ
ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ КОТЛА БКЗ-210-140Ф)**

Специальность 05.14.14 - Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

Заворин Александр Сергеевич доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Лебедев Виталий Матвеевич доктор технических наук, профессор, Омский государственный университет путей сообщения, профессор кафедры теплоэнергетики

Старченко Александр Васильевич доктор физ.-мат. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский государственный университет, заведующий кафедрой вычислительной математики и компьютерного моделирования

Ведущая организация:

ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (г. Санкт-Петербург).

Защита диссертации состоится « 27 » декабря 2012 года в 14³⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.269.13 при ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, ул. Усова, 7, корпус 8, ауд. 217.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической Библиотеке ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Автореферат разослан « » ноября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Матвеев А.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Состояние энергетики России на современном этапе характеризуется сокращением числа вновь вводимых энергетических объектов из-за дефицита необходимых инвестиционных ресурсов. Как следствие этого последние десятилетия отмечены быстрым ростом доли установленной мощности, подлежащей замене в связи с физическим и моральным износом, поскольку основная масса активов функционирующих ныне энергетических компаний создавалась в 50–70 гг. прошлого века. В настоящее время 75,6% мощности ТЭС имеет срок эксплуатации более 30 лет. Высокая доля износа основного оборудования приводит к снижению показателей эффективности, экономичности и надежности отечественной энергетики, которые уступают аналогичным мировым показателям и определяют острую актуальность задач модернизации в отрасли.

В свою очередь, изменения ценовой политики продаж нефти и природного газа усиливают тенденцию повышения интереса к использованию твердого топлива в мире. Она, в своей глобальной сути, объективно проистекает из ограниченности ресурсов высококалорийного ископаемого углеводородного сырья. В российском топливном балансе наблюдается обратная картина – доля станций, работающих на угле, составляет всего 18%. Однако ожидается, что в перспективе доля угля в топливно-энергетическом балансе будет повышаться, и спрос на уголь в России в связи с изменениями структуры запасов основных энергоносителей будет неизбежно возрастать.

Сложившаяся ситуация и ее развитие диктуют необходимость ориентировать энергетику на более доступные и дешевые виды топлива. Однако тенденция использования в связи с этим углей с различными качественными характеристиками, зачастую значительно отличающимися от проектного топлива, приводит к снижению эффективности и надежности энергетического производства.

Изложенные обстоятельства мотивируют к поиску и реализации не только малозатратных путей и вариантов модернизации котельных установок, но и обеспечивающих при этом определенную универсальность по сжигаемым углям.

В связи с вышеотмеченным вопросы совершенствования технологий сжигания твердого топлива применительно к эксплуатируемому и весьма износившемуся парку котлов являются актуальными. Анализ развития и опыта эксплуатации факельно-вихревых топок свидетельствуют, что их основные преимущества могут быть выгодно использованы для модернизации котельного парка угольных тепловых электростанций при условии достаточной наработки данных об особенностях топочного процесса, прежде всего по организации устойчивой аэродинамики.

Работа выполнялась в соответствии с основными направлениями НИР Национального исследовательского Томского политехнического университета в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. по мероприятию «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области производства топлива и энергии из органического сырья».

Целью работы является обоснование возможности совершенствования существующих факельно-вихревых схем сжигания твердого топлива путем комбиниро-

вания аэродинамики традиционных тангенциальных пылеугольных топок и низкоэмиссионных вихревых технологий, основанных на применении нижнего дутья.

Основные задачи исследования:

- применительно к распространенной в отечественной энергетике конструкции пылеугольной топки с тангенциальной компоновкой горелок охарактеризовать аэродинамику и связанные с ней параметры топочной среды как основу для последующего сравнения исследуемых комбинированных аэродинамических схем;
- исходя из анализа тенденций развития факельно-вихревых топочных устройств, произвести обоснованный выбор принципиальных конструктивных схем синтеза традиционных технологий сжигания с тангенциально закрученной аэродинамикой и вихревой технологии с использованием нижнего дутья;
- для принятых к рассмотрению вариантов организации аэродинамики факельно-вихревого сжигания твердого топлива выполнить оценку общих и локальных характеристик топочного процесса и влияния на них основных эксплуатационных режимов;
- на основе исследования особенностей топочного процесса выявить преимущества и недостатки совмещения аэродинамической схемы тангенциально закрученного факела и вариантов нижнего воздушного дутья;
- выработать рекомендации по практическому использованию совмещения исследуемых аэродинамических схем при организации факельно-вихревого сжигания твердого топлива в топках котельных агрегатов.

Научная новизна полученных результатов:

- вариативными вычислительными экспериментами применительно к топке котла БКЗ-210-140Ф расширены и дополнены представления о процессах в тангенциально закрученном факеле и их особенностях в разных областях объёма камерной топки;
- впервые для пылеугольной топки с твёрдым шлакоудалением и с традиционной тангенциальной компоновкой горелочных блоков проведены исследования вариантов комбинированных аэродинамических схем сжигания твёрдого топлива, использующих нижнее воздушное дутьё;
- получены новые данные по параметрам топочной среды в различных областях топочной камеры, включая пристенную, для комбинированных схем, сочетающих тангенциальную закрутку факела и варианты направленности нижнего дутья;
- определены индивидуальные особенности влияния режимных факторов и направленности нижнего воздушного дутья на аэродинамическую структуру и связанные с ней процессы в топке для реализации комбинированных факельно-вихревых схем сжигания.

Практическая значимость работы:

- данные, полученные в результате численного исследования топочных процессов для котлов типа БКЗ-210-140Ф с тангенциальным расположением горелочных блоков, могут использоваться при эксплуатации с целью повышения экономичности и надёжности их работы;

- полученные новые данные по рассмотренным комбинированным аэродинамическим схемам являются основой для выполнения проектов модернизации парка котлов данного типа;
- предложены рекомендации по организации топочного процесса применительно к модернизации объекта исследования путём перевода на комбинированные аэродинамические схемы пылеугольного сжигания;
- показана возможность применения пакета прикладных программ FIRE 3D для решения практических задач разработки вариантов реконструкции камерных топок, в которых реализованы комбинированные факельно-вихревые схемы сжигания.

Полученные результаты исследования и рекомендации по организации топочных процессов приняты к использованию ОАО «Подольский машиностроительный завод» (ЗИО) для предпроектного анализа и выбора вариантов модернизации пылеугольных топок с изначально тангенциальной компоновкой горелок и при проработке новых конструкций паровых котлов;

Результаты численного исследования топочных процессов для тангенциальной пылеугольной топки котла БКЗ-210-140Ф и её сочетания с вариантом организации нижнего воздушного дутья по классической однонаправленной схеме используются для анализа мероприятий по эффективной эксплуатации котлов в Филиале «Приморская генерация» ОАО «Дальневосточная генерирующая компания».

Методика исследования используется в учебном процессе по специальности 140502 «котло- и реакторостроение» в Томском политехническом университете (включена в лекционный курс и лабораторный практикум по дисциплине «Моделирование физических процессов и объектов проектирования», в тематику выпускных квалификационных работ и учебно-исследовательской работы студентов).

Достоверность результатов обеспечивается применением апробированных математических моделей и надежных методов вычислений, хорошей согласованностью с экспериментальными данными других авторов, а также с результатами расчетов, выполненных по нормативному методу теплового расчета котлов.

На защиту выносятся:

- результаты численного исследования топочных процессов для традиционных тангенциальных пылеугольных топок и их сочетания с рассмотренными вариантами организации нижнего воздушного дутья применительно к объекту исследования;
- результаты анализа особенностей влияния режимных факторов и направленности нижнего воздушного дутья на аэродинамику в топке с исследованными комбинированными факельно-вихревыми схемами сжигания;
- рекомендации по организации топочного процесса применительно к модернизации объекта исследования на сжигание твёрдого топлива с применением комбинированных аэродинамических схем.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались на XV...XVIII Международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (г. Томск, 2009...2012 гг.), Региональной научно-практической конференции «Теплофизиче-

ские основы энергетических технологий» (г. Томск, 2009 г.), VII Международной конференции студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук» (г. Томск, 2010 г.), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Теплофизические основы энергетических технологий» (г. Томск, 2010 г., 2012 г.), VII Всероссийском семинаре ВУЗов по теплофизике и энергетике (г. Кемерово, 2011 г.), XVII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность» (г. Томск, 2011 г.), Всероссийской молодежной конференции «Химическая физика и актуальные проблемы энергетики» (г. Томск, 2012 г.), Всероссийской молодёжной конференции «Горение твёрдого топлива» (г. Томск, 2012 г.).

Публикации. По теме диссертационного исследования автором опубликовано 16 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения и списка литературы (102 наименования). Работа содержит 133 страницы основного текста, включая 2 таблицы и 22 рисунка, а также 52 страницы приложения.

Личное участие автора. Автором выбраны варианты исполнения аэродинамических схем для реализации факельно-вихревых технологий сжигания твёрдого топлива, проведены вычислительные эксперименты, анализ полученных результатов, формулирование выводов. В постановке задач исследований, обсуждении методики вычислительных экспериментов и полученных результатов принял участие научный руководитель д.т.н. Заворин А.С.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и сформулирована цель работы.

В первой главе приведены анализ основных тенденций развития и опыта эксплуатации факельно-вихревых топков. Рассмотрены различные схемы организации вихревого движения, технологии с образованием вихрей с горизонтальной и вертикальной осью вращения, а также синтезированные технологии с организацией более сложной аэродинамической структуры.

На основе выполненного анализа предложено для исследования сочетание топков с вертикальными вихрями и нижнего дутья. Такой путь совершенствования существующих факельно-вихревых технологий сжигания продиктован возможностью рассредоточения зоны активного горения, образующейся при технологиях с вертикальными вихрями, на значительно больший объем топочного пространства. Это позволит снизить максимальную температуру в топке и за счет активной аэродинамики выравнять уровень температуры в объеме вихревой зоны, что должно обеспечить более выгодные условия работы поверхностей нагрева и котла в целом. Для исследования выбрана низкоэмиссионная вихревая технология, которая в настоящее время довольно широко применяется в практике реконструкции пылеугольных котлов, и традиционная тангенциальная топка, имеющая в плане форму близкую к квадрату, с одноярусным расположением горелочных устройств. Предпосылками этому послужило их широкое распространение на тепловых электростанциях Рос-

сии и стремление повысить универсальность топочного устройства по качеству сжигаемого топлива.

Исходя из вышеизложенного для определения возможности применения комбинированных аэродинамических схем в соответствии с поставленной целью исследований в завершение первой главы поставлены задачи диссертационной работы.

Во второй главе описывается объект исследования – котельный агрегат БКЗ-210-140Ф, с тангенциальным расположением горелочных устройств, выбранный с учётом масштабов распространения в энергетике и имеющих проблем эксплуатации при сжигании непроектных топлив.

На основе результатов экспериментальных и наладочных исследований, приведенных в различных источниках, выделены для рассмотрения области топочного объема – пристенная, центральная и промежуточная.

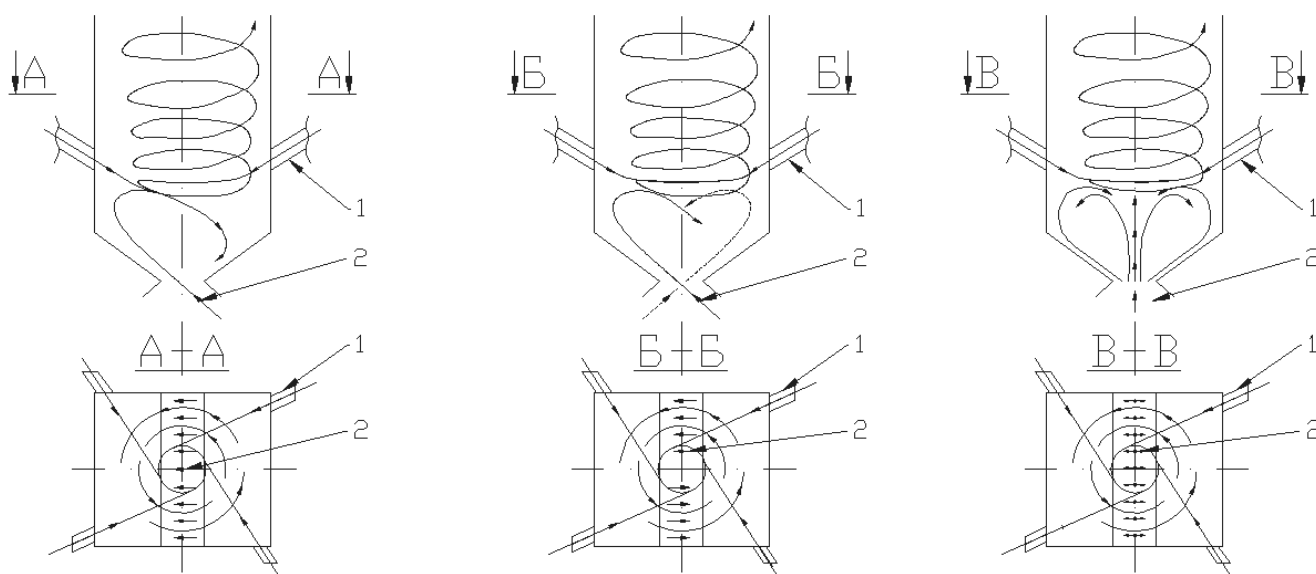


Рис. 1. Схемы комбинированных аэродинамических схем

а) НВК; б) НВП; в) НВФ;

1 – горелочные устройства; 2 – устройство нижнего дутья

Выбраны варианты комбинирования аэродинамических схем применительно к топкам с тангенциальным расположением горелок (рис. 1), базирующиеся на различной направленности нижнего дутья: классическое для НТВ-топок однонаправленное дутьё вдоль фронтального ската холодной воронки (НВК); так называемое «пропеллерное» дутьё, когда поток разделяется по ширине топки на два, каждый из которых направлен по одному из скатов холодной воронки (НВП); фонтанное дутьё, направленное по вертикали вверх (НВФ).

Выполнение поставленных задач проведено методом численных исследований.

Для построения адекватной математической модели аэродинамики, горения и теплообмена в топке принят метод, совмещающий Эйлеров и Лагранжев подходы для описания движения газа и взвешенных частиц. Согласно этому методу общие уравнения движения, теплообмена и горения в газовой фазе представляются на основе Эйлера способа описания, т.е. используются стационарные пространственные уравнения баланса массы, импульса, концентраций газовых компонентов и энергии для газовой смеси. Лагранжев подход применяется для описания движения

и тепломассообмена одиночных частиц топлива и золы вдоль их траекторий с учетом обратного влияния дисперсной фазы на несущую среду. Турбулентные характеристики газа рассчитываются с использованием двухпараметрической «к-ε» модели турбулентности, также учитывающей влияние движущихся частиц. Радиационный теплообмен в двухфазном потоке представляется в рамках Р1-приближения метода сферических гармоник, который показывает хорошие результаты применения к пылеугольным топкам.

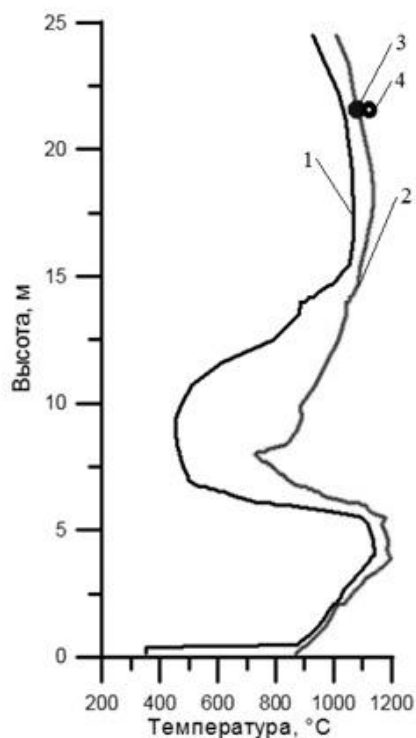


Рис. 2. Значения температуры в горизонтальных сечениях

1 и 2 – соответственно среднеинтегральный и максимальный уровень по результатам моделирования; 3 – расчёт по нормативному методу; 4 – результат натурных испытаний на котле

численного моделирования составили 16–16,5 м/с, а по результатам прямых измерений от 16 до 17,3 м/с. Значение коэффициента избытка воздуха на выходе из топки, определённое при моделировании по концентрации кислорода, составило 1,21, в натурном эксперименте – 1,14–1,24. Эти данные свидетельствуют о достаточной адекватности математической модели, используемой в программном продукте FIRE 3D, и расчётного метода при анализе процессов в топке с тангенциально закрученной вихревой аэродинамикой, реализуемой в топке котла БКЗ-210-140Ф.

В третьей главе приведены результаты моделирования топочных процессов применительно в различных режимах несения нагрузки котлом БКЗ-210-140Ф в проектном исполнении. Они явились основой для последующего сравнения технологий сжигания, представляющих собой сочетание базовой аэродинамической схемы с вертикальным тангенциально закрученным факелом и вариантов осуществления нижнего воздушного дутья.

Расчет выполнен с использованием данных наладки и испытаний котла, а также

Выполнен обзор наиболее распространенных программных продуктов, которые позволяют решать вопросы моделирования топочных процессов. По результатам анализа возможностей описанных программных продуктов в качестве инструмента исследований выбран пакет прикладных программ FIRE 3D.

Для тестового исследования рассмотрен режим работы котельного агрегата на четырех мельницах при номинальной нагрузке. Результаты тестирования показали хорошую сходимость с результатами, полученными как расчётным путём по нормативной методике теплового расчёта котельных агрегатов, так и при натурных экспериментах в процессе тепловых испытаний котла. Так, разница по значению температуры на выходе из топки не превышает 50 °С и укладывается в допускаемые инженерными методиками отклонения (рис. 2). Значения скорости среды в соответствующих точках интенсивного движения по результатам

данных о средневзвешенном составе рабочей массы угля за этот период: влажность 40,4 %; зольность 28,7 %; теплота сгорания 10,85 МДж/кг; выход летучих 56 % (на горючую массу); тонина помола $R_{90} = 72,0$ %.

Наиболее надёжное ведение топочных процессов при тангенциальной компоновке горелок достигается работой всех четырёх горелочных блоков (рис. 3 а, б). Это обеспечивается благодаря устойчивой аэродинамической структуре и, как следствие, благоприятными теплофизическими параметрами топочной среды. При нагрузке котла 0,9 Дном выявлена возможность образования локальных застойных зон, которые однако в условиях отсутствия загрязнений не сказываются на ухудшении теплообмена. Свидетельством этому является уровень температуры продуктов сгорания на выходе из топки – не более 1350 К, что определяет надёжную работу конвективных поверхностей нагрева котла при сжигании распространенного дальневосточного угля.

При работе котла на трёх горелочных блоках без изменения нагрузки из-за асимметрии факела относительно вертикальной оси топки фиксируются области благоприятные для возникновения и развития шлакования. К ним относятся боковой прилегающий к незагруженной горелке и фронтовой экраны под горелочным поясом, вблизи устья холодной воронки на высоте от 3 до 6 м (~20 м² экранов), а также полоса по периметру топки, поднимающаяся на высоте от 15 до 23 м (~30 м² экранов).

Режим работы котла с задействованием двух встречно направленных горелочных блоков является по всем признакам, выявляемым при анализе результатов моделирования топочных процессов, непреемлемым для надёжной и экономичной эксплуатации.

Основные результаты, полученные при численном исследовании процессов в топочной камере с тангенциальной компоновкой горелок, полностью соответствует экспериментальным данным других исследований (Ф.А. Серант, Б.П. Устименко и др.).

В четвертой главе представлена оценка общих и локальных характеристик топочного процесса и влияния на них основных эксплуатационных режимов для принятых к рассмотрению вариантов организации факельно-вихревого сжигания твердого топлива. Всего для каждого из вариантов комбинированных аэродинамических схем по четырём сочетаниям задействованных горелок и для четырёх анализируемых характеристик топочного процесса с учётом их пошагового фиксирования по трём осям координат на данном этапе исследования получено 2512 экспозиций картины топочной среды. В общей сложности для всех трёх рассмотренных вариантов аэродинамических схем база для сравнительного анализа состояла из 7536 таких экспозиций.

На основе выполненных исследований особенностей топочного процесса получены новые данные по параметрам основных характеристик в различных областях топочной камеры, включая пристенную, в результате оценки которых выявлены преимущества и недостатки совмещения аэродинамической схемы тангенциально закрученного факела и нижнего дутья

Вариант НВК при различных режимах работы (рис.3 в, г) показал как положительные качества, так и неудовлетворяющие условиям надёжной эксплуатации кот-

ла. Так, при работе котла на двух горелках более предпочтительным является режим с включением в работу прилежащих к фронту горелочных устройств, а работа при встречно включенных горелках показала свою несостоятельность из-за организации нестабильной аэродинамики в топке и высоких значений тепловых потоков в пристенной области выше горелочных устройств. Вместе с тем при задействовании в работу трех и четырех горелочных блоков отмечена стабильная аэродинамическая структура на основе взаимодействия вертикального и горизонтального вихрей, которая обеспечивает растягивание зоны активного горения и умеренные значения температур на выходе из топки.

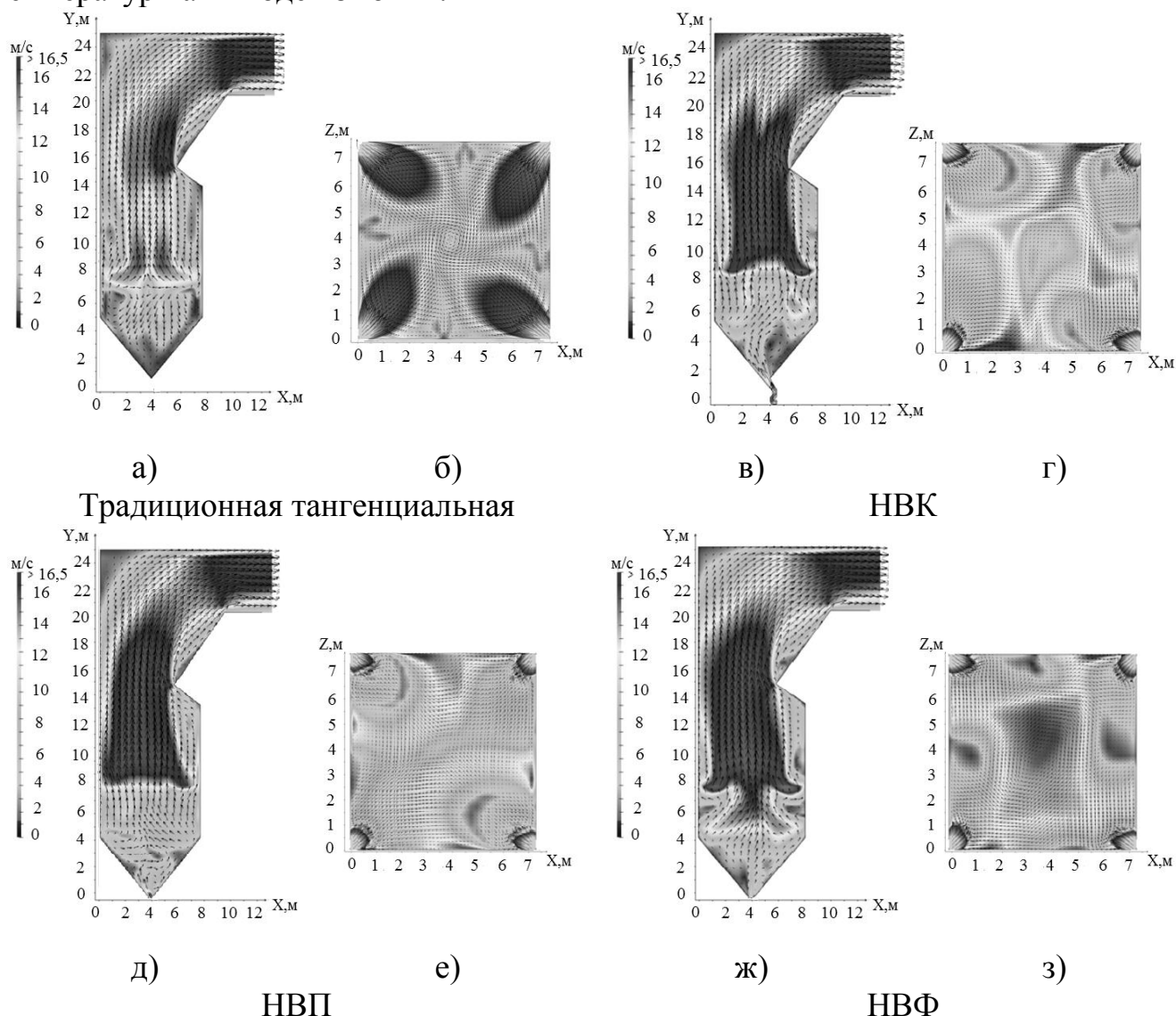


Рис. 3. Аэродинамическая структура потоков по сечениям топочной камеры при работе четырёх горелочных блоков:

а), в), д), ж) в вертикальном по оси топки ($z = 3,74$ м);
б), г), е), з) в горизонтальном по оси горелок ($y = 6,5$ м).

Вариант аэродинамической схемы НВП (рис.3 д, е) показал себя по рассматриваемым характеристикам работоспособным. Установлено, что разнонаправленное нижнее дутье обеспечивает устойчивую аэродинамическую структуру топочной среды независимо от нагрузки и сочетания включенных в работу горелочных устройств. За счет омыwania скатов холодной воронки большая часть топлива воз-

вращается в зону горения, что препятствует недожогу и в значительной мере исключает возможность провала и осаждения частиц на трубы экранов. Наблюдается растягивание зоны активного горения, вследствие чего обеспечиваются умеренные и равномерные температурные поля. В зоне активного горения температура в среднем ниже, чем при использовании традиционной тангенциальной схемы, что способствует уменьшению образования термических оксидов азота. Уровень температур на выходе из топки также ниже, чем при традиционной тангенциальной схеме.

Работоспособность варианта НВФ (рис.3 ж, з) подтверждается лишь при задействовании в работу всех четырех горелочных устройств, так как для исключения провала топлива необходимо обеспечивать достаточно интенсивный поток нижнего дутья, который при режимах работы на трех и двух горелочных блоках разбивает неустойчивый вертикальный вихрь и выносит вверх. Следует отметить, что использование фонтанного направления нижнего дутья с включением четырех горелочных устройств способно обеспечивать низкую вероятность провала топлива и отложений на экранных трубах в районе холодной воронки. При этом наблюдается растягивание зоны активного горения и достаточное заполнение топочного пространства.

Полученные результаты численного моделирования в целом позволяют оценить работоспособность рассмотренных вариантов аэродинамических схем топочного процесса применительно к топке котла БКЗ-210-140Ф и являются основой для обоснования наиболее экономичных режимов их применения.

В пятой главе выполнен анализ полученных результатов с целью определения индивидуальных особенностей влияния варьируемых режимных факторов на параметры работы топки. Проведено сравнение вариантов синтеза традиционных тангенциальных пылеугольных топок с низкоэмиссионными вихревыми технологиями сжигания топлива угрубленного помола, на основе которого выработаны рекомендации по практическому использованию совмещения исследуемых аэродинамических схем при организации факельно-вихревого сжигания твердого топлива в топках котельных агрегатов с применением нижнего дутья.

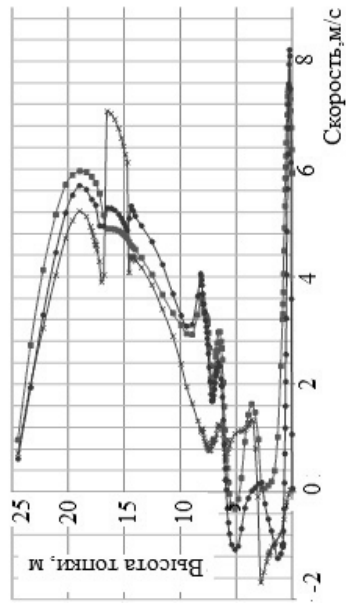
Оценка эффективности предложенных вариантов выполнялась по результатам численного моделирования аэродинамической структуры топочного пространства, распределения температурных и концентрационных полей.

Изменение количества включенных горелок и расхода топлива приводит к изменению скоростного режима как при истечении смеси из устья горелок, так и при распространении газов в объеме топки (рис. 4 а, б, в).

Распределение окислителя (рис. 5 г, д, е) по топочному объему, характеризующее степень его перемешивания и взаимодействия с топливными частицами, показывает, что условия для наиболее полного выгорания частиц имеют место при использовании традиционной тангенциальной технологии при работе котла на четырех и трех горелках (рис. 5 а, б, в).

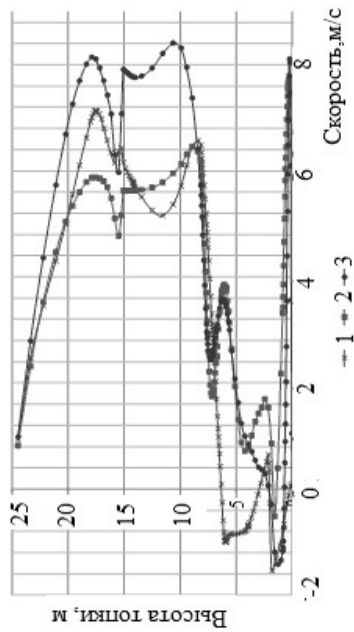
Анализ результатов исследований относительно применимости каждой из рассматриваемых аэродинамических схем свидетельствует, что самостоятельное использование можно рассматривать лишь для двух схем – с классическим и пропеллерным направлением нижнего дутья. Вариант с фонтанным направлением нижнего дутья показал свою состоятельность только при режиме работы котла с задействованием четырех горелочных блоков.

Пристенная область



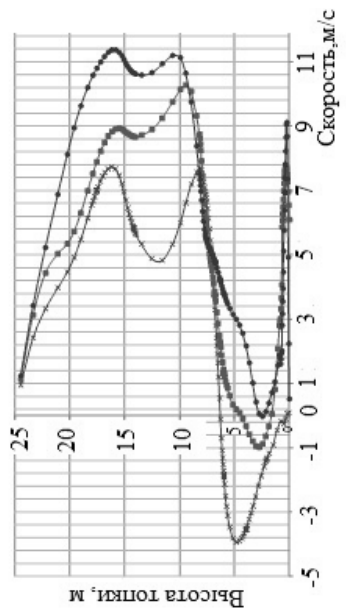
а)

Промежуточная область

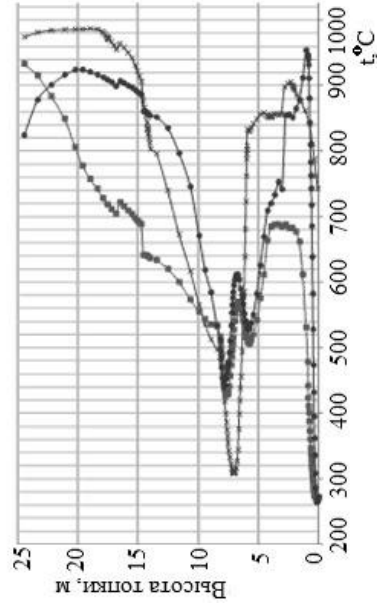


б)

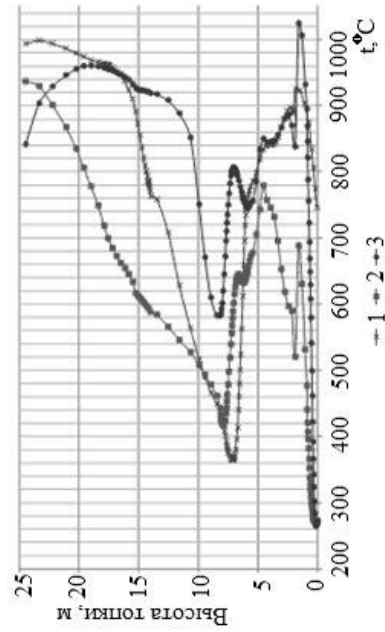
Центральная область



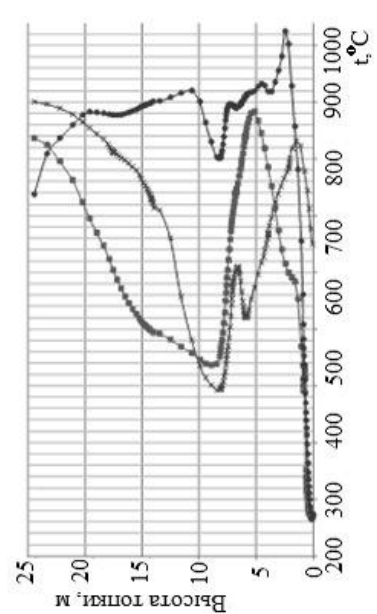
в)



г)



д)

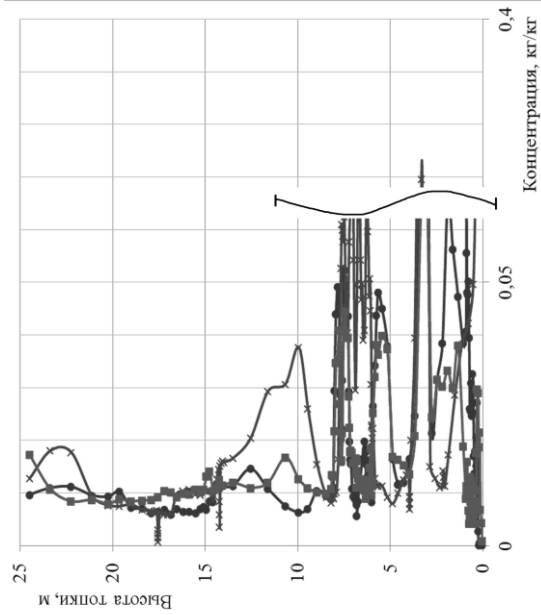


е)

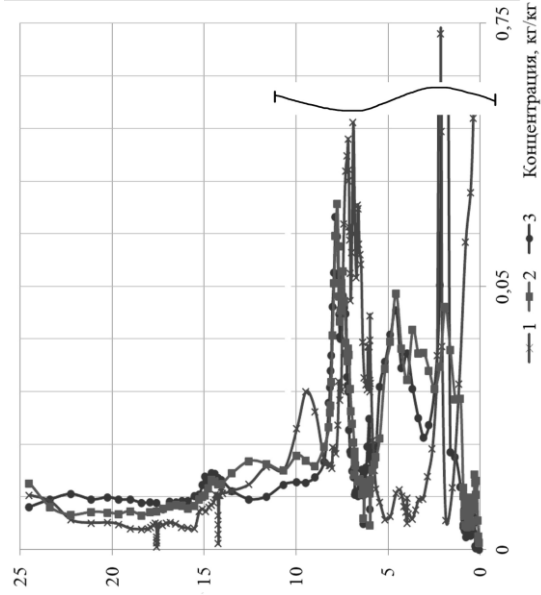
Рис. 4. Значения подъёмной скорости и изменение температуры дымовых газов по высоте топки в различных областях топочной камеры при работе трёх горелочных блоков

1) традиционная схема с тангенциальным расположением горелок; 2) вариант НВК; 3) вариант НВП

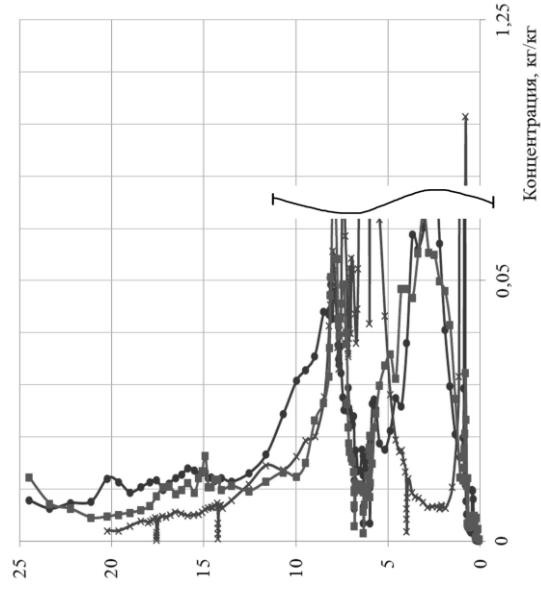
Пристенная область



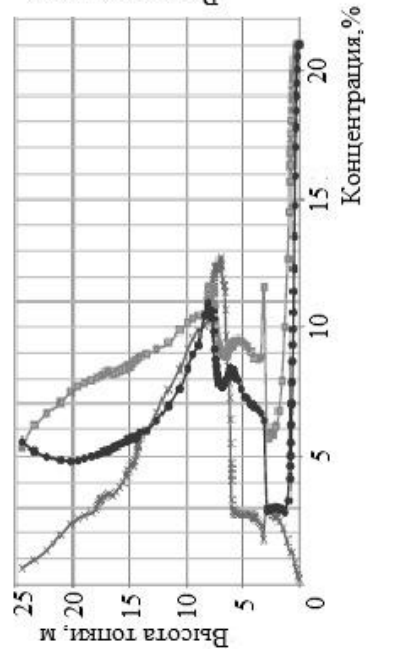
Промежуточная область



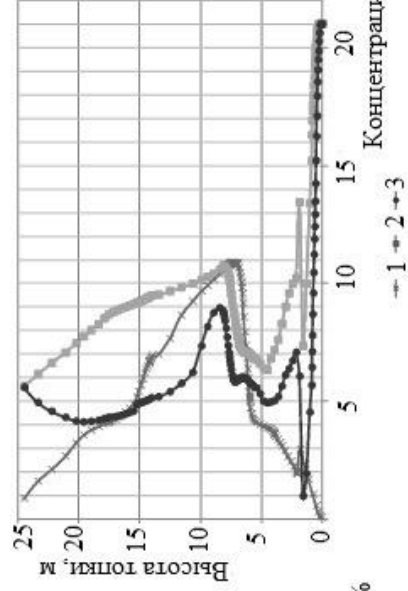
Центральная область



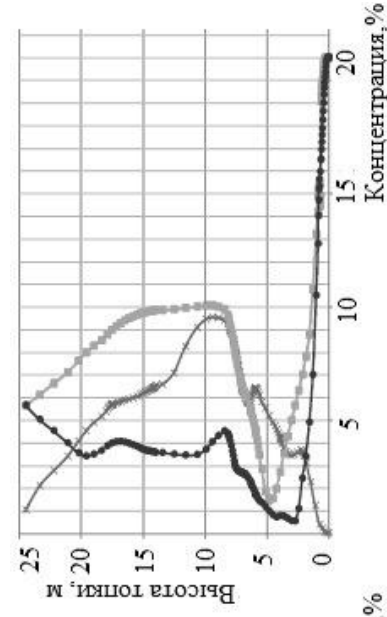
а)



б)



в)



г)

Рис. 5. Изменения концентраций частиц и кислорода по высоте топки

в различных областях топочной камеры при работе трёх горелочных блоков

1) традиционная схема с тангенциальным расположением горелок; 2) вариант НВК; 3) вариант НВП

д)

е)

Для достижения наиболее благоприятных условий надёжной и экономичной работы котла в условиях нестабильности качества поставляемого угля при работе на четырёх горелочных блоках выгодно использовать вариант НВФ или НВП, на трех – НВП, а на двух – НВК с включением горелочных блоков, прилежащих к фронту котла. Подобное совмещение комбинированных схем обеспечит возможность эксплуатации объекта исследования в трёх режимах: сжигание молотого топлива с использованием существующих пылесистем по традиционной тангенциальной схеме; одновременное сжигание молотого и топлива угрубленного помола; сжигание топлива угрубленного помола. При этом переход с одного режима на другой принципиально возможно осуществлять без останова котла и сложных переключений в случае нахождения удачного конструктивного решения для варибельного устройства нижнего дутья.

В приложении приведены результаты решения задач на ЭВМ и визуализация численного моделирования, а также материалы, подтверждающие характер и степень практического использования полученных результатов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Работа тангенциальной топки с задействованием трёх горелочных блоков характеризуется увеличением вялопроточных зон, что способствует возникновению и развитию шлакования экранных труб, вблизи бокового, прилежащего к незагруженной горелке, и фронтального экранов под горелочным поясом, в районе устья холодной воронки на высоте от 3 до 6 м (~20 м² экранов), а также в полосе, поднимающей по периметру топки на высоте от 15 до 23 м (~30 м² экранов).
2. Однонаправленное нижнее дутьё вдоль фронтального ската холодной воронки при работе котла на трёх или четырёх горелочных блоках создаёт стабильную аэродинамическую структуру потоков в топке, растягивает зону активного горения и обеспечивает умеренные температуры на выходе из топки. Режим работы котла на двух пылесистемах по такой аэродинамической схеме возможен лишь с задействованием двух прилежащих к фронту котла горелочных блоков.
3. Направление нижнего дутья вдоль фронтального и тыльного скатов холодной воронки, разделённого пополам, характеризуется наиболее активной аэродинамической структурой для всех рассматриваемых сочетаний задействованных горелочных блоков, создаёт условия для возврата выпадающих частиц в зону горения, и вследствие этого для снижения недожога топлива.
4. Фонтанное направление нижнего дутья является действенным только при работе всех четырех горелочных блоков, обеспечивая условия для снижения провала топлива и образования отложений на экранных трубах в районе холодной воронки, растягивание зоны активного горения и равномерное заполнение топочного пространства дымовыми газами.
5. Для реализации принципов комбинированной аэродинамической схемы при тангенциальной компоновке основных горелок и нижнем вторичном дутье предпочтительно использовать возможность перехода к различным вариантам направленности нижнего дутья, что позволит минимизировать негативные факторы и обеспечит возможность эксплуатации котла в разных режимах, удовлетворяющих

условию универсальности по топливу, но требует разработки конструкции переменного устройства нижнего дутья, которое позволит осуществлять переход с одной аэродинамической схемы на другую без останова котла.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях

1. Заворин А.С., Бетхер Т.М., Лебедев Б.В. Анализ топочной среды котла БКЗ-210-140 на основе численного моделирования // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 4 – С. 50–55.
2. Заворин А.С., Лебедев Б.В. Бетхер Т.М. Численное исследование аэродинамики топочной среды пылеугольного котла при модернизации по варианту низкоэмиссионной вихревой технологии // Промышленная энергетика. – 2012. – № 4. – С. 7–10.
3. Бетхер Т.М. Численное моделирование топочной среды при модернизации камерной топки для сжигания топлива угрубленного помола // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. – 2012. – № 3. – С. 19–24.
4. Бетхер Т. М., Гиль А. В., Лисовенко Т. А. Актуальность применения численного моделирования для НТВ-топок // Современные техника и технологии: Труды XV международной научно-практ. конф. студентов, аспирантов и мол. ученых, т.3. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009г., с. 239-240.
5. Бетхер Т. М., Лебедев Б. В., Гиль А. В. Топочные технологии как средство эффективного возвращения угля в энергетику // Материалы региональной научно-практ. конф. «Теплофизические основы энергетических технологий». – Томск: ИПФ ТПУ, 2009г., с. 172-180.
6. Betkher T.M., Shebalkina I.Y., Doroshevich S.A. Mathematical modeling of the bkz - 210-140 boiler internal surroundings under burning of sub-standard coal types // Труды VII Международной конф. студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук». – Электрон. Текст. Дан. – Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, 2010. – Режим доступа: http://science-persp/tpu/ru/Previous%20Materials/Konf_2010/pdf., с. 753-755.
7. Бетхер Т.М., Лебедев Б.В., Гиль А.В. Математическое моделирование топочных процессов при модернизации топки котла БКЗ-210-140Ф // Современные техника и технологии: Труды XVI Международной научно-практ. конф. студентов и молодых ученых, т.3. – Томск: ИПФ ТПУ, 2010 г., с. 162-163.
8. Бетхер Т.М., Лебедев Б.В., Гиль А.В. Сравнительный анализ факельной и вихревой технологий сжигания угля в котле БКЗ-210-140 посредством математического моделирования // Теплофизические основы энергетических технологий: Труды Всероссийской научно-практ. конф. с международным участием. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010 г., с. 242-245.
9. Литвинова Н.А., Бетхер Т.М. Альтернативные технологии сжигания твердого топлива // Современные техника и технологии: Труды XVII Международной научно-практ. конф. студентов и молодых ученых, т.3. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011 г., с. 219-220.
10. Мамаев А.К., Бетхер Т.М. Сравнительный анализ существующих программных продуктов для моделирования топочных процессов // Современные техника и

- технологии: Труды XVII Международной научно-практ. конф. студентов и молодых ученых, т.3. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011 г., с. 221-222.
- 11.Прамзина Е.С, Бетхер Т.М. Низкотемпературна вихревая технология: характеристика и значение в энергетике// Современные техника и технологии: Труды XVII Международной научно-практ. конф. студентов и молодых ученых, т.3. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011 г., с. 251-252.
 - 12.Мамаев А.К., Бетхер Т.М., Гиль А.В. Численное моделирование аэродинамики топочной среды камерной топки для сжигания топлива угрубленного помола // Современные техника и технологии: Труды XVIII Международной научно-практ. конф. студентов и молодых ученых, т.3. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012 г., с. 207-208.
 - 13.Бетхер Т.М. Численное исследование топочной среды пылеугольного котла при модернизации на сжигание грубоизмельченного топлива // Сборник докладов VII Всероссийского семинара ВУЗов по теплофизике и энергетике. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2011 г., с. 63-65.
 - 14.Бетхер Т. М. Численное исследование вариантов модернизации тангенциальных топок для сжигания топлива угрубленного помола // Теплофизические основы энергетических технологий: сборник научных трудов II Всероссийской научно-практ. конф. с международным участием. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011 г, с. 215-218.
 - 15.Бетхер Т.М., Корженко А.В. Математическое моделирование вариантов модернизации тангенциальных топок для сжигания топлива угрубленного помола // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: Материалы XVII Всероссийской научно-техн. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011 г., с. 101-103.
 - 16.Бетхер Т.М., Гиль А.В., Мамаев А.К., Исследование пристенной области тангенциальных топок // Сборник тезисов и докладов Всероссийской молодежной конф. «Химическая физика и актуальные проблемы энергетики» – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – с. 31-32.

Подписано к печати _____. Формат 60 х 84 / 16 .
Гарнитура Times. Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Усл. печ.л.1,4. Тираж 100 экз. Заказ № _____

Отпечатано в типографии _____
634000, г. Томск, _____.