

На правах рукописи



Ахметова Римма Валентиновна

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СХЕМ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
КОТЛАХ ТЭС**

05.14.14 –Тепловые электрические станции, их энергетические системы и
агрегаты

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Казань – 2019

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» на кафедре «Электрические станции им. В.К. Шибанова».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Таймаров Михаил Александрович

Официальные оппоненты: **Зройчиков Николай Алексеевич**,
доктор технических наук, профессор,
Акционерное общество «Энергетический институт
им Г.М. Кржижановского», заместитель
генерального директора по науке

Зиганшина Светлана Камилловна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Тепловые электрические станции»
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Самарский государственный технический
университет».

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург.

Защита состоится «13» июня 2019 года в 14 час. 00 мин. на заседании
диссертационного совета Д 212.082.02 при ФГБОУ ВО «Казанский
государственный энергетический университет», по адресу: 420066, г. Казань,
ул. Красносельская, 51, ауд. Д-225.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью
организации, просим направлять по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51,
КГЭУ, Ученому секретарю диссертационного совета Д 212.082.02.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
«Казанский государственный энергетический университет» и на сайте
<http://www.kgeu.ru>

Автореферат разослан «22» апреля 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д212.082.02
д-р техн. наук, доцент



Зверева Эльвира Рафиковна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из приоритетных задач, выделенной в «Основных положениях технической политики в электроэнергетике России на период до 2030г.», является минимизация расходов на производство электроэнергии и тепла. Для повышения КПД котла и, следовательно, для снижения удельных затрат энергоресурсов на производство тепловой энергии, необходима оптимизация процессов сжигания топлива в топках энергетических котлов. Выбор рациональных режимов сжигания газа и мазута в энергетических котлах связан с необходимостью учета большого количества одновременно протекающих взаимосвязанных процессов радиационного теплообмена и исследования влияния многочисленных режимных и конструктивных факторов на радиационный теплообмен и излучение факела в топках энергетических котлов. В этой связи, исследование взаимодействия факелов и распределение температур по топочному объему при совместном сжигании газа и мазута и их влияния на радиационный теплообмен в топках котлов является актуальным для повышения экономичности и надежности паровых котлов.

Степень разработанности темы исследования. Проблема поддержания высокого КПД при сжигании топлива в энергетических котлах ТЭС при всех нагрузках изучалась как российскими, так зарубежными учеными, такими как Блинов Е.А., Блох А.Г., Адамов В.А., Митор В.В., Ахмедов Р.Б., Кормилицын В.И., Зройчиков Н.А. и др. Но тем не менее, следует отметить о значительном недостатке экспериментального материала по характеру температурных полей факела в топках котлов в зависимости от их конструктивного исполнения, паропроизводительности, вида сжигаемого топлива и типа используемых горелочных устройств. Данные различных авторов по распределению значений тепловых потоков от факела в топочном объеме не согласуются между собой из-за различных подходов к проведению экспериментов. Экспериментов по оценке влияния распределения интенсивности излучения факела по топочному объему, конструктивных параметров форсунок и режимных условий работы котлов на эффективность совместного сжигания газа и мазута не проводилось.

Объект исследования: схемы сжигания газа и мазута в энергетических котлах ТЭС марки ТГМ-84А и ТГМ-84Б.

Цель работы: повышение эффективности совместного сжигания газа и мазута в зависимости от режимных параметров и конструктивных особенностей паровых котлов ТГМ-84А и ТГМ-84Б.

Задачи исследования:

1. Разработка экспериментального оборудования и методики исследования.
2. Разработка модернизированного варианта форсунки и исследование влияния применяемого типа форсунок на повышение эффективности сжигания мазута.

3. Исследование влияния схем сжигания газа, мазута и совместного сжигания газа и мазута на температуру факела в зависимости от типа форсунок и марок котлов для повышения энергетической эффективности котлов.

4. Исследование влияния схем сжигания газа, мазута и совместного сжигания газа и мазута на КПД котлов.

Соответствие диссертации паспорту специальности 05.14.14 - «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» по формуле специальности:

- проблемы совершенствования действующих и обоснования новых технологий производства электрической энергии и тепла, систем подготовки и сжигания топлива;

по областям исследований:

п.1. разработка научных основ методов расчета, выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы агрегатов, систем и тепловых электростанций в целом;

п.3. разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий производства электрической энергии и тепла, использования топлива, водных и химических режимов, способов снижения влияния работы тепловых электростанций на окружающую среду

п. 6 разработка вопросов эксплуатации систем и оборудования тепловых электростанций.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Для котлов ТГМ-84Б и ТГМ-84А при сжигании схем сжигания газа, мазута и совместного сжигания газа и мазута экспериментально получены зависимости температуры факела и интенсивности излучения факела по высоте, ширине и глубине топочных объемов при различных паровых нагрузках.

2. Получены экспериментальные данные о влиянии применяемого типа форсунок на эффективность сжигания мазута при различных нагрузках.

3. Получены зависимости о влиянии круток воздуха и конструктивных особенностей горелок на эффективность сжигания топлива.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

1. Полученные закономерности изменения интенсивности излучения факела в топках котлов ТГМ-84Б и ТГМ-84А в зависимости от особенностей горелочных устройств, схем сжигания газа и мазута могут быть использованы в технических мероприятиях по модернизации энергетических котлов на ТЭС.

2. Разработан и запатентован стенд для тарировки мазутных форсунок.

3. Разработана и запатентована форсунка с соударением струй, применение которой повышает энергетическую эффективность котла на 0,54 %.

4. Результаты работы могут использоваться проектными организациями и котлостроительными заводами при разработке новых конструкций топок энергетических котлов, а также при проведении пусконаладочных и режимно-наладочных работ на котлах, находящихся в эксплуатации.

Достоверность и обоснованность результатов обусловлена применением современных методов экспериментальных исследований, сопоставимостью полученных данных с результатами других авторов, практической проверкой предложенных решений на действующих энергетических котлах.

Методология и методы исследования. В работе использованы методы экспериментальной физики, аэродинамики, теории горения, теории лучистого теплообмена, спектроскопии и инфракрасной техники. Для расчетов и построения графических зависимостей использовались пакеты прикладных программ Microsoft Exel, MathCad Professional, AutoCAD 2015.

Реализация результатов работы. Научно-технические решения по повышению эффективности совместного сжигания газа и мазута в паровых котлах ТГМ-84Б внедрены в филиале ОАО «ТГК-16» Нижнекамской ТЭЦ-1.

Личный вклад автора состоит в получении экспериментальных зависимостей, обобщении результатов, написании и опубликовании статей и тезисов, патентов, формулировке основных выводов диссертационной работы и выборе способов достижения цели работы.

Все результаты диссертационной работы получены лично автором под научным руководством профессора, доктора технических наук М.А. Таймарова.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Полученные экспериментальные данные по распределению температур по высоте, ширине и глубине топочных объемов паровых котлов при различных паровых нагрузках.

2. Запатентованная конструкция форсунки для сжигания мазута.

3. Полученные данные по влиянию конструктивных параметров форсунок, схемы их расположения в топке на распределение интенсивности излучения факела по топочным объемам при совместном сжигании газа и мазута, что обеспечивает повышение энергетической эффективности котлов.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на следующих конференциях: международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы» (г. Казань, 2015-2016), XX аспирантско - магистерском научном семинаре, посвященному Дню энергетика (г. Казань, 2016), Международной молодежной научной конференции «Гинчуринские чтения» (г. Казань, 2017-2018), II Международной научно-технической конференции «Энергетические системы» (г. Белгород, 2017).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 20 работ, из них 10 статей в журналах из перечня ВАК, 2 статьи в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus, 3 патента, 5 материалов докладов на различных конференциях и семинарах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 122 наименований. Общий объем диссертации - 169 страниц, 62 рисунков, 13 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы диссертации, формулируются цели и задачи исследования, описываются научная новизна и практическая ценность работы, обосновывается достоверность результатов, кратко излагается содержание работы по главам.

В первой главе выполнен анализ литературы по исследованиям сжигания газа и мазута. Рассмотрены методы определения параметров структуры факела в топке котла при сжигании мазута. Представлена взаимосвязь параметров, влияющих на эффективность сжигания топлива.

Во второй главе приведено описание методики и используемого экспериментального оборудования для определения оптимальных расходных и регулировочных характеристик форсунок и определения интенсивности излучения факела на действующих котлах ТЭС. В настоящей работе разработан стенд, позволяющий тарировать механические и паромеханические форсунки (рис. 1).

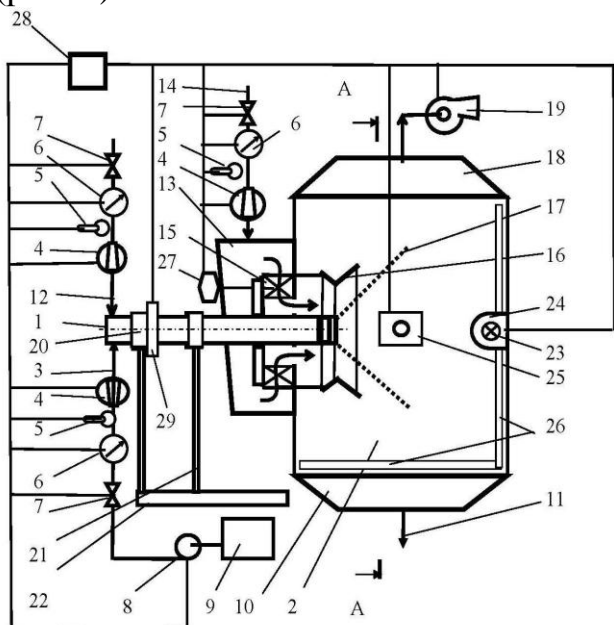


Рисунок 1. Стенд для тарировки мазутных форсунок

1-форсунка, 2- камера впрыска, 3- труба для подачи воды, 4-расходомер, 5-термометр, 6 – манометр, 7- запорно-регулирующий вентиль, 8- электрический насос, 9- расходный бак для воды, 10- поддон, 11- труба слива воды, 12- трубопровод для подачи распыливающего воздуха, 13- приемный воздушный короб, 14- трубопровод подачи воздуха на лопатки завихрителя, 15-лопатки завихрителя, 16 - диффузор, 17-диспергированная и закрученная воздушно-водная смесь, 18- вытяжной короб, 19- электровентилятор выброса воздуха в атмосферу, 20-кронштейны, 21- стойки, 22-основание, 23-осветительная лампа, 24-защитный колпак, 25-видеокамера, 26- координатные линейки, 27-узел поворота лопаток завихрителя, 28 - электронный блок сбора сигналов и управления стендом, 29 – узел автоматизированного осевого перемещения форсунки

Стенд позволяет определить диаметр и длину факела в зависимости от производительности форсунки, степени дробления капель, влияния взаимодействия круток воздуха и мазута на длину и диаметр факела.

В работе для измерения температуры продуктов сгорания в пристеночном слое разработан пирометрический термозонд (рис. 2), позволяющий измерять температуры газового потока при помощи сдвоенных незранированных термопар без отсоса газа с термоэлектродами различных диаметров, выполненных из одинаковых материалов.

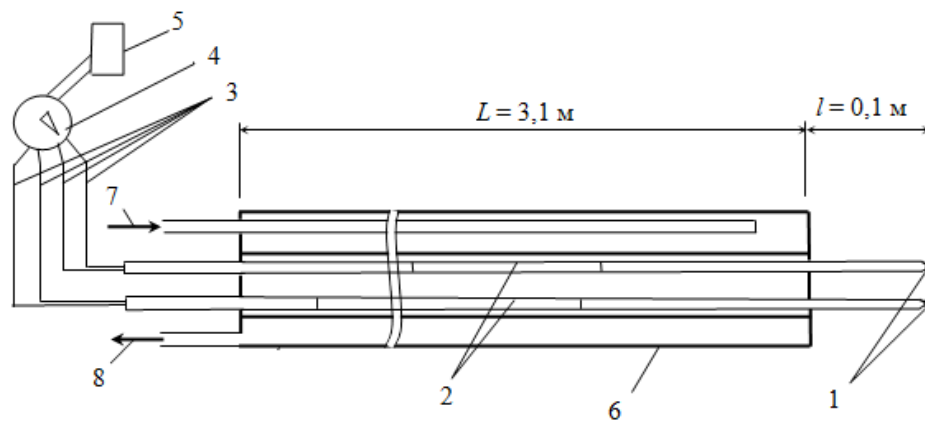


Рисунок 2. Схема устройства экспериментального термозонда с двумя термопарами, применяемого для измерения температуры факела:

1 – рабочие концы термопар; 2 – фарфоровая изоляция; 3 – термоэлектроды; 4 – переключатель термопар; 5 – вторичный измерительный прибор (электронный цифровой вольтметр MASTECH MAS838); 6 – кожух; 7 – вход воды; 8 – выход воды.

При экспериментах в послойных измерениях температуры факела рабочий спай вместе с кожухом вдвигался через лючок в топку котла через каждые 0,5 м и производился отсчет показаний. Максимально допустимая температура работы пирометрического термозонда, достигнутая с термопарой типа хромель-алюмель ХА до 1200 °С. Каолиновая нить при этой температуре, с углублением кожуха термозонда на всю длину до 2000 мм вглубь топки термически не разрушалась, а лишь происходило локальное потемнение нити в местах контакта с ее внутренней поверхностью защитного трубчатого экрана.

Погрешность в определении температуры газового потока по показаниям двух неэкранированных термопар составляет, °С

$$\Delta t_2 = (2 A_o + 1) + (t_2 - t_1) \Delta A_o \quad (1)$$

где ΔA_o – погрешность в определении коэффициента A_o , равная $\pm 0,25 \dots 0,32$.

При $t_1 = 1177$ °С и $t_2 = 1155$ °С, $\Delta t_2 = 22$ °С, что составляет чуть больше 1 % от измеренной температуры.

Температура светящегося факела измерялась с помощью инфракрасного пирометра с погрешностью измерений $\pm 2,5$ °С при 1500 °С.

Измерения интенсивности излучения факела в топках котлов проводились при помощи радиометра полного излучения ТЕРА-50. При измерениях регистрируется тепловой поток E_0 в виде электрического сигнала U_0 в мВ, отнесенного к градуировке РК-15 при степени черноты излучающего объекта (абсолютно черного тела).

Величина теплового потока от продуктов сгорания определяется по закону Стефана-Больцмана по формуле:

$$E = \varepsilon \sigma T^4, \quad (2)$$

где ε - реальная степень черноты продуктов сгорания, определяемая по содержанию трехатомных газов; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ - постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К⁴); T - абсолютная температура излучающего объекта, К.

В третьей главе приведены результаты экспериментов по влиянию распределений интенсивности излучения факела при сжигании мазута с использованием форсунок различных конструкций на котле ТГМ-84Б №4 Нижнекамской ТЭЦ-1 (НкТЭЦ-1) (рис. 3).

Исследуемый котел имеет 6 горелок в 2 яруса: отметка 7,2 метра – горелки с 1-й по 4-й; отметка 10,2 метра – горелки №5 и №6. На данном котле 16 лючков: на отметке 6,6 метра (с 1-го по 4б); на отметке 11,2 метра (с 5-го по 12-й); на отметке 22,3 метра (13-й и 14-й). На рисунке 3 условно представлены два сечения по глубине топок: сечение №1 и сечение №2, а также условно представлены 6 сечений по ширине топок: сечение №3- №8.

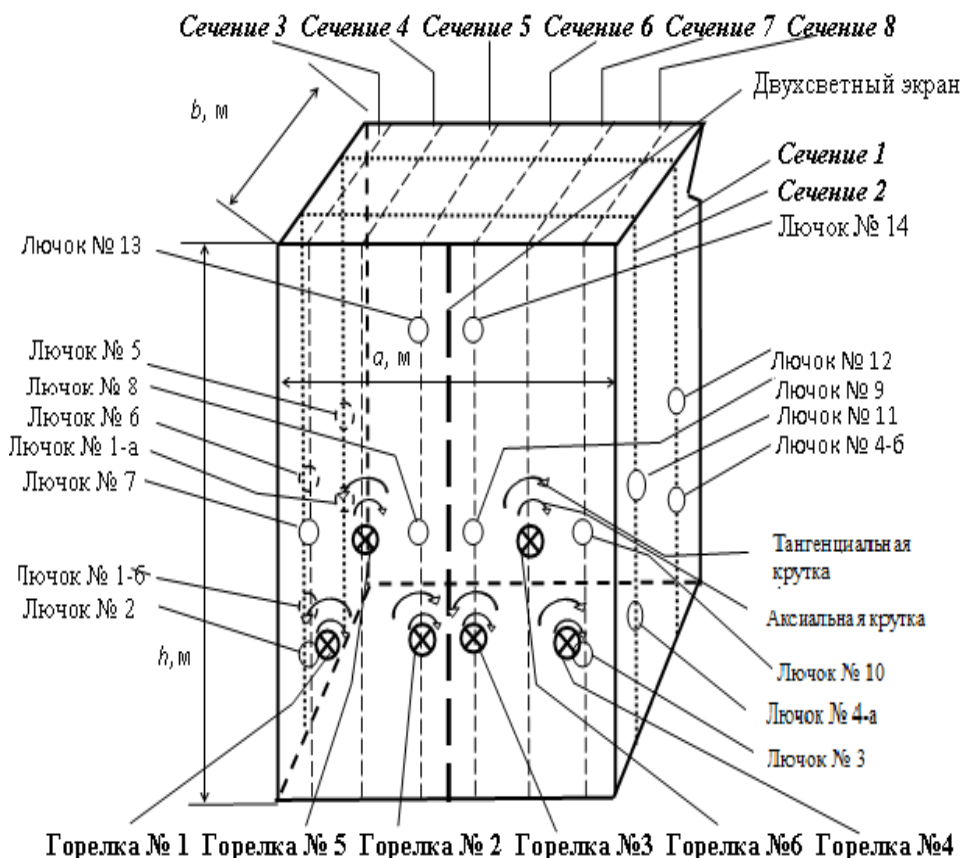
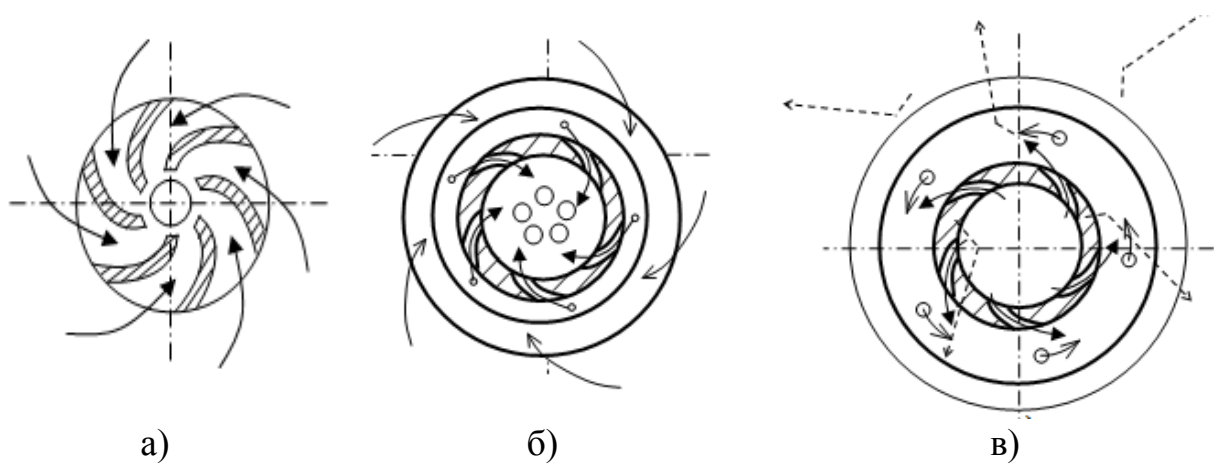


Рисунок 3. Схема сечений топки котла ТГМ-84Б при анализе результатов измерений температуры факела (⊗- горелки фронтальной стены топочной камеры, ○-лючки)

Исследования интенсивности излучения в топке котла проводились с использованием механической форсунки, паромеханической форсунки ФУЗ-5000 и форсунки, разработанной в данной работе (патент №106718) (рис.4). Предлагаемая форсунка (рис. 5) направлена на решение задачи унификации присоединения штуцеров форсунки к существующим на котлах конструкциям трубопроводов подвода топлива и распыливающей среды и повышения эффективности сжигания топлива при смене режимов работы форсунки.



а) б) в)

Рисунок 4. Исследуемые форсунки для сжигания мазута:

а) – механическая форсунка типа «Ильмарине»; б) – паромеханическая форсунка типа «ФУЗ»; в) – паромеханическая форсунка с соударением струй:

← мазут, ← пар, ← - - - - - закрученная распыленная струя мазута с паром

Форсунка с соударением струй оптимизирует процесс горения жидкого топлива за счет лучшего диспергирования капель мазута. При соударении струй из отверстий 5 и 9 происходит предварительное первичное дробление мазута на капли. При ударе предварительно диспергированных потоков пара и мазута о распыливающий насадок 10 происходит вторичное дробление капель мазута, а при попадании вторично диспергированного мазутно-парового потока в щелевой зазор между распыливающим насадком 10 и торцевой частью регулирующей втулки 3 происходит дополнительное третичное дробление мазутно-парового потока. Применение угла наклона 60° для торцевой части распыливающего насадка 10 в заявляемой форсунке позволяет добиться геометрической конфигурации факела, при которой не происходит наброса факела на задний и на боковой экраны котла.

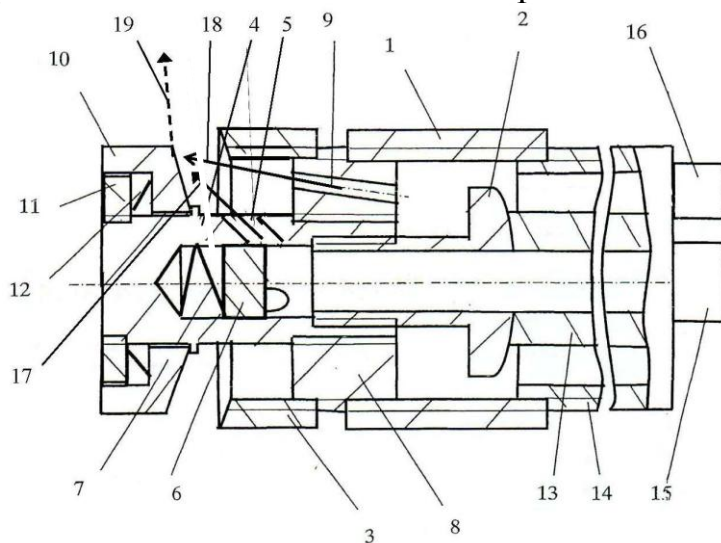


Рисунок 5. Модернизированная форсунка для сжигания мазута

1-крепёжная обойма, 2-штуцер для подвода топлива, 3-регулирующая втулка, 4-сопло, 5- отверстия для подвода топлива, 6-плунжер, 7-осевая тарированная пружина, 8-шайба, 9 – отверстия для подвода распылителя, 10 –распыливающий насадок, 11-стопорная гайка, 12-торцевая тарированная пружина, 13- центральная ствольная труба для подачи топлива, 14- наружная ствольная труба, 15 - штуцер ствольной трубы для подачи топлива, 16 – штуцер ствольной трубы для подачи распылителя; 17 – мазут; 18 – пар; 19 – закрученная распыленная струя мазута с паром.

При экспериментах измерялись режимные параметры работы котлов и интенсивность излучения от факела (рис. 6).

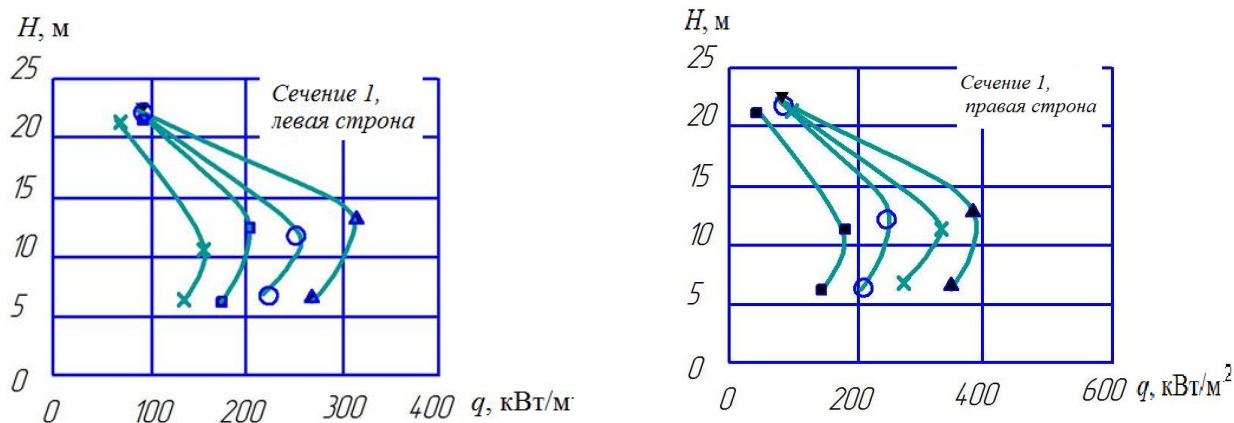


Рисунок 6. Интенсивность излучения факела в топке котла ТГМ-84Б:

○ - при D_k 355 т/ч, топливо газ все горелки;

■ - при D_k 360 т/ч, топливо мазут (механические форсунки);

▲ - при D_k 405 т/ч, топливо мазут (ФУЗ-5000);

× - при D_k 300 т/ч, топливо мазут в горелках № 1, № 2 (КГЭУ), газ в горелках № 3, 4, 5, 6

Четвертая глава содержит экспериментальные данные о влиянии схемы сжигания газа и мазута на температуру факела в котлах ТГМ-84А и ТГМ-84Б. Мазут сжигался с использованием механических форсунок при нагрузках 350 – 360 т/ч с влажностью 5,2 % и теплотой сгорания 9074 ккал/м^3 . Газ сжигался уренгойский с теплотой сгорания 8028 ккал/м^3 .

При проведении экспериментов использовались следующие схемы сжигания топлива:

- газ во всех горелках;
- газ в горелках № 2, 3, 5, 6, мазут в горелках № 1, 4;
- газ в горелках № 1 – 4, мазут в горелках № 5, 6;
- газ в горелках № 1, 4, мазут в горелках № 2, 3, 5, 6;
- мазут во всех горелках.

Топка котла ТГМ-84Б разделена двухсветным экраном, топочные процессы в левой и правой стороне котла неодинаковы, т.к. аксиальная крутка воздуха на всех горелках правого направления и тангенциальная крутка воздуха горелок в левом и правом боку котла ассиметричны. При переводе котлов с одного вида топлива на другое происходит перераспределение значений тепловых потоков по объему топки котла. Ввиду различия процесса смешивания топлива и воздуха температура факела в правой стороне котла выше, чем в левой, как при сжигании газа, так и при сжигании мазута (рис. 7).

Температура факела возле заднего экрана ниже, чем возле фронта котла. Значения температур факела по глубине топки котла ТГМ-84Б сопоставляются с результатами Ахмедова Р.Б.

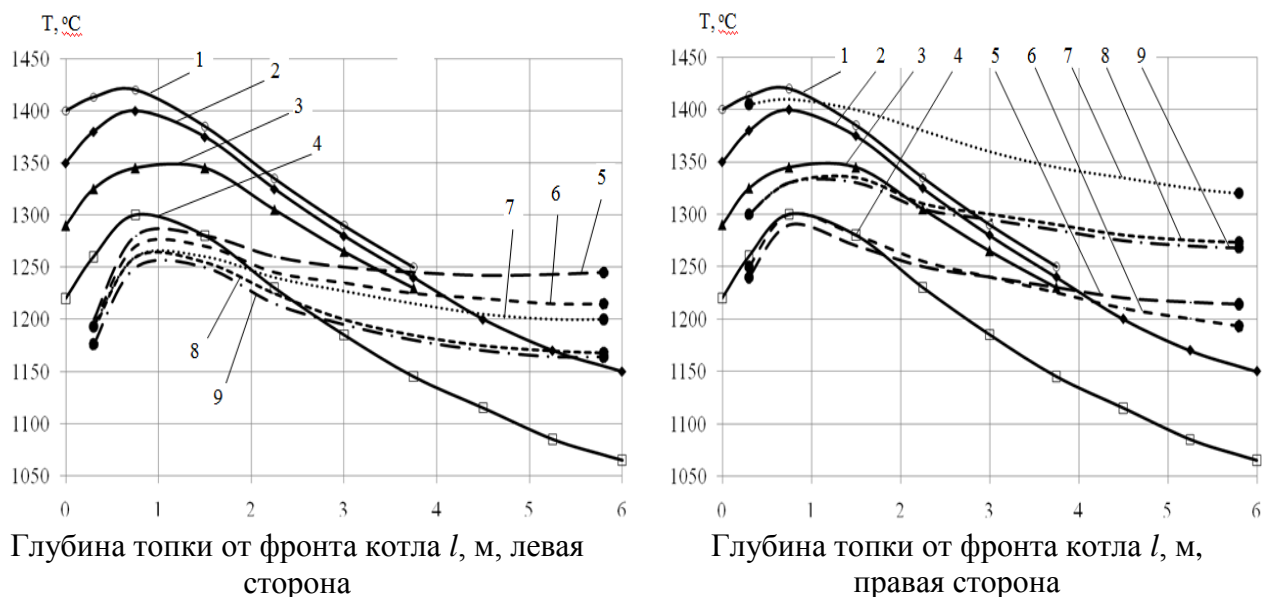


Рисунок 7. Влияние схемы сжигания мазута с использованием механических форсунок на отметке 6,6 м и сравнение температурных данных с другими авторами (1 – 4 – котел ЦКТИ-75-39Ф, 5 – 9 – данные настоящей работы, котел ТГМ-84Б $D_k = 355$ т/ч).

1 – $z = 2,6 d$, $n = 1,06$, $\alpha = 1,05$, крутка горелок правое - левое;

2 – $z = 3 d$, $n = 1,06$, $\alpha = 1,05$, крутка горелок правое - левое;

3 – $z = 3,5 d$, $n = 1,06$, $\alpha = 1,05$, крутка горелок правое - левое;

4 – $z = 3 d$, $n = 1,06$, $\alpha = 1,05$, крутка горелок левое - правое;

5 – $z = 4 d$, $n = 3,1$, $\alpha = 1,045$, крутка горелок левое – правое, при сжигании газа во всех горелках;

6 – $z = 4 d$, $n = 3,1$, $\alpha = 1,095$, крутка горелок левое – правое, при сжигании газа в горелках № 2, 3, 5, 6 и мазута в горелках № 1, 4;

7 – $z = 4 d$, $n = 3,1$, $\alpha = 1,105$, крутка горелок левое – правое, при сжигании газа в горелках № 1, 4 и мазута в горелках № 2, 3, 5, 6;

8 – $z = 4 d$, $n = 3,1$, $\alpha = 1,095$, крутка горелок левое – правое, при сжигании газа в горелках № 1 – 4 и мазута в горелках № 5, 6;

9 – $z = 4 d$, $n = 3,1$, $\alpha = 1,16$, крутка горелок левое – правое, при сжигании мазута во всех горелках; z – расстояние между горелками, d ;

n – коэффициент крутки воздуха.

При использовании форсунок, разработанных в данной работе, мазут сжигался с теплотой сгорания 8961 ккал/кг. При использовании форсунок ФУЗ-5000 мазут сжигался с теплотой сгорания 9534 ккал/кг. При сжигании газа теплота сгорания топлива составляла 8028 ккал/м³ (рис.8)

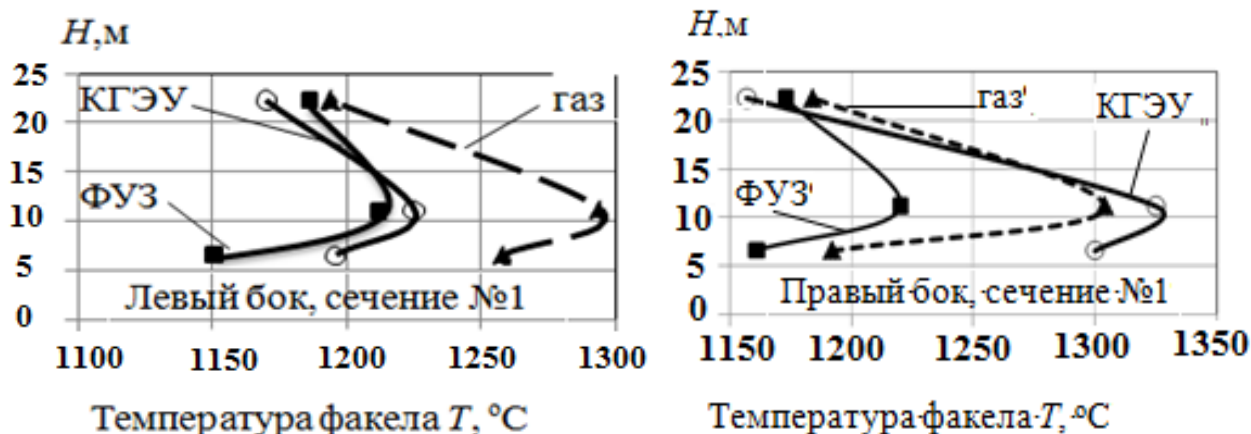


Рисунок 8. Температура факела по высоте топки (H) котла ТГМ-84Б при сжигании газа с $D_k = 310$ т/ч, мазута в крайних горелках № 1 и № 4 с использованием форсунки ФУЗ при $D_k = 337$ т/ч и форсунки предлагаемой КГЭУ.

На рис. 9 приведены данные по КПД и температуры уходящих газов $t_{ух.г}$ при сжигании смешанного топлива: газа и мазута в механических форсунках в котле №4 ТГМ-84А на Нижнекамской ТЭЦ-1 (НкТЭЦ-1). Теплота сгорания мазута М-100 в опытах равнялась 9230 ккал/кг, обводненность 1% и содержание серы 2,5 % и газа 7950 ккал/м³.

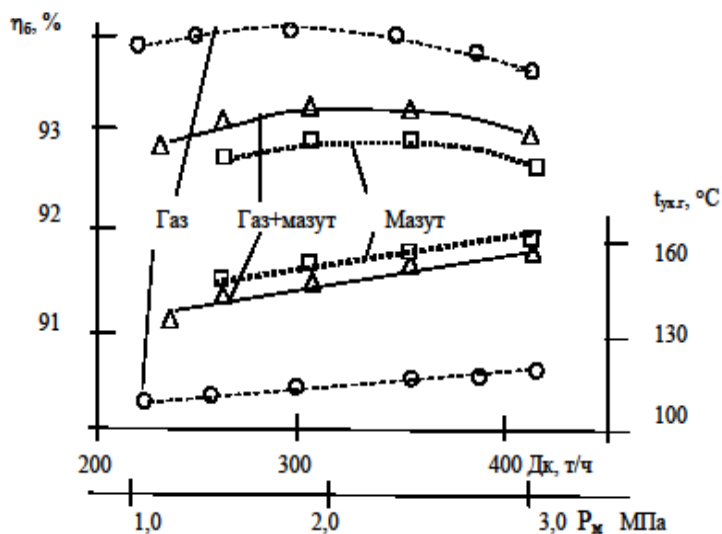


Рисунок 9. Зависимость КПД брутто и температуры уходящих газов $t_{ух.г}$ от нагрузки D_k котла ТГМ-84А №4 НкТЭЦ-1 при сжигании смешанного топлива: газа (горелки №№3,4) и мазута в механических форсунках при давлении P_m (горелки №№1,2), \square - мазута (горелки №№1-4) и \circ - газа (горелки №№1-4). Угол наклона лопаток тангенциальных завихрителей 30°.

Механические форсунки, применяемые на котле ТГМ-84А №4 НкТЭЦ-1, дают более тонкий распыл при давлении 3,0 МПа, что повышает интенсивность сгорания мазута в факеле.

На рис. 10 представлены зависимости КПД от нагрузки при сжигании мазута М100 с теплотой сгорания 9230 ккал/кг для котла ТГМ-84Б. Теплота сгорания газа составляла 7950 ккал/м³.

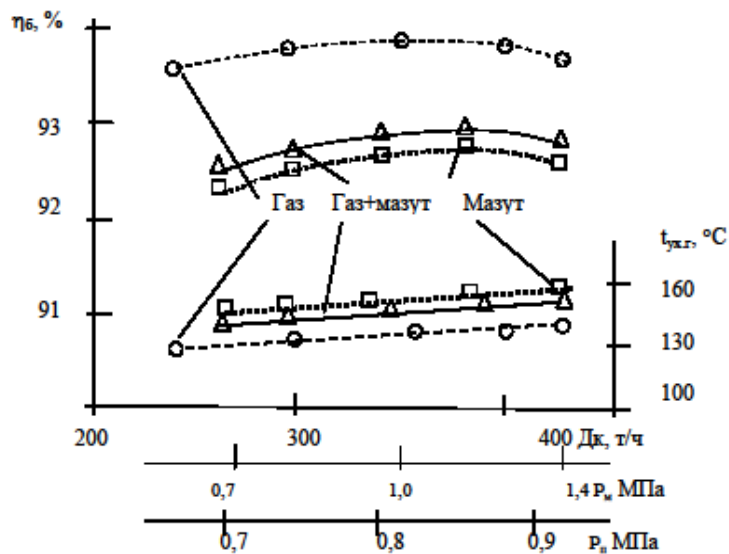


Рисунок 10. Зависимость КПД брутто и температуры уходящих газов $t_{ух.г}$ от нагрузки D_k котла ТГМ-84Б №9 КТЭЦ-1 при сжигании: Δ — смешанного топлива: мазут (горелки №№1-4), газ (горелки 5,6) и \square — мазута в паромеханических форсунках ФУЗ-5000 при давлении мазута P_m и пара P_p на распыл (горелки №№1-6) и \circ газа (горелки №№1-4).

При сжигании газа с паропроизводительностью 270–350 т/ч экспериментальный КПД котла брутто ниже расчетных значения на 0,3 %. При сжигании мазута во всех горелках с использованием механических форсунок с паропроизводительностью 300 – 360 т/ч КПД котла брутто ТГМ-84Б выше режимных значений на 1,5 %. При сжигании мазута в горелках № 1 и № 4 с использованием паромеханических форсунок, значение КПД котла ТГМ-84Б для паропроизводительности котла 300 т/ч на 0,54% выше, чем с использованием паромеханических форсунок ФУЗ.

В приложениях приведены протоколы первичных экспериментальных данных, режимные карты конкретных котлов, программы для обработки и описания полученных результатов и акт внедрения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Основные результаты диссертации заключаются в следующем:

1. Разработано экспериментальное оборудование и стенд для тарировки мазутных форсунок, который позволяет определять диаметр и длину факела в зависимости от производительности форсунки и степени дробления капель.

2. Разработана форсунка, которая позволяет добиться геометрической конфигурации факела, при которой не происходит наброса факела на задний и боковой экраны котла за счет большого угла распыливания.

3. Получены экспериментальные данные о влиянии применяемого типа форсунок на повышение эффективности сжигания мазута. При сжигании мазута с использованием механических форсунок с паропроизводительностью 360 т/ч значение интенсивности излучения факела ниже, чем при сжигании газа во всех горелках. Использование паромеханических форсунок вместо механических дает большее значение интенсивности излучения факела во всем объеме топки котла, что в дальнейшем отражается большими температурами факела на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок.

4. Проведено экспериментальное исследование радиационного теплообмена в топках котлов ТГМ-84А и ТГМ-84Б при различных паровых

нагрузках с различной организацией топочного процесса. Сжигание мазута по схеме мазут в горелках № 2, 3 с использованием паромеханических форсунок ФУЗ-5000 позволяет достичь больших температур факела в топочном объеме котла, чем при остальных исследованных схемах сжигания мазута.

5. Экспериментами установлено, что при сжигании мазута в горелках № 1 и № 4 с использованием паромеханических форсунок, предлагаемых в данной работе, значение КПД котла ТГМ-84Б на 0,54% выше, чем с использованием паромеханических форсунок ФУЗ-5000.

Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы:

- перспективным является использование результатов работы для разработки новых конструкций горелок для сжигания метано-водородной фракции в энергетических котлах.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Ахметова Р.В. Образование и способы снижения оксидов азота в котлах ТГ-104 с прямоточно-вихревыми горелками и периферийной подачей газа / М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, Д.Е. Чикляев, Е.Г. Чикляев, Р.Г. Сунгатуллин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. № 9-10. С. 83-90 (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 1551 на дату публикации 09.2016; общий объем - 0,5 пл., личный вклад - 0,1 пл.).

2. Ахметова Р.В. Сжигание метано-водородной фракции и мазута в котлах ТГМ-84А / М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, Д.Е. Чикляев, Е.Г. Чикляев, Р.Г. Сунгатуллин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2016. № 4. С. 83-95 (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 1495 на дату публикации 10.2016; общий объем - 0,81 пл., личный вклад - 0,163 пл.).

3. Ахметова Р.В. Особенности химических реакций горения метано-водородной фракции в радиантных топках / М.А. Таймаров, Н.Е. Кувшинов, Р.В. Ахметова, Р.Г. Сунгатуллин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. № 11-12. С. 124-128 (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 1551 на дату публикации 11.2016; общий объем - 0,31 пл., личный вклад - 0,1 пл.).

4. Ахметова Р.В. Исследование химических процессов образования оксидов азота при сжигании газа и мазута / М.А. Таймаров, Н.Е. Кувшинов, Р.В. Ахметова, Р.Г. Сунгатуллин, Д.Е. Чикляев // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. №20. С.80-83 (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 382 на дату публикации 10.2016; общий объем - 0,81 пл., личный вклад - 0,163 пл.).

5. Ахметова Р.В. Снижение вредных выбросов в атмосферу оксидов азота котлами ТЭС / М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, Р.Г. Сунгатуллин, Ю.В.

Лавирко, Е.С. Желтухина // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. №1(39). С.180-188 (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 1775 на дату публикации 01.2017; общий объем - 0,5 пл., личный вклад - 0,1 пл.).

6. Ахметова Р.В. Показатели режимных параметров котлов ТГМ-84Б при сжигании в них метано-водородной фракции / М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, Р.Г. Сунгатуллин, Е.Г. Чикляев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. №1. С.58-63 (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 1495 на дату публикации 01.2017; общий объем - 0,375 пл., личный вклад - 0,1 пл.).

7. Ахметова Р.В. Исследование режимных параметров работы котлов при сжигании мазута с повышенным содержанием воды / М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, Р.Г. Сунгатуллин, Е.А. Салтанаева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2. С. 68-75. (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 1495 на дату публикации 04.2017; общий объем - 0,5 пл., личный вклад - 0,125 пл.).

8. Ахметова Р.В. Тепловые потоки от факела в котлах с различной компоновкой горелок / Е.А. Салтанаева, М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, Р.Г. Сунгатуллин, Аль Зубайди Али Налиб Салих // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. № 9-10. С. 50-58 (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 1549 на дату публикации 09.2017; общий объем - 0,562 пл., личный вклад - 0,11 пл.).

9. Ахметова Р.В. Сжигание мазута в котлах при различных компоновках горелок / М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, В.К. Ильин, С.М. Маргулис // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. № 7-8. С. 55-62. (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 921 на дату публикации 07.2018; общий объем - 0,5 пл., личный вклад - 0,125 пл.).

10. Ахметова Р.В. Влияние кавитационной обработки на выгорание частиц мазута в топках котлов / М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, С.М. Маргулис, Л.И. Касимова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. № 9-10. С. 52-59. (Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК № 924 на дату публикации 09.2018; общий объем - 0,5 пл., личный вклад - 0,125 пл.).

Публикации в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus:

11. Akhmetova R.V. Development of water saving technology for water supply system of industrial enterprises / A.A. Akhmetov, R.V. Akhmetova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. T.134, №1. P.012001 (общий объем - 0,31 пл., личный вклад - 0,156 пл.).

12. Akhmetova R.V. Calculation of fuel oil drop burnup time dependence on intensity of flame radiation / М.А. Taymarov, R.V Akhmetova, R.G. Safin // Research Journal of Applied Sciences. 2016. T.11. P. 1660-1665. (общий объем - 0,375 пл., личный вклад - 0,125 пл.).

Патенты на полезные модели:

13. Котельная установка / М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, Р.Г. Сунгатуллин // пат. №169930 Рос. Федерация. № 2016128163; заявл. 11.07.2016; опубл. 06.04.2017. Бюл.№10. 2 с.

14. Стенд для тарировки мазутных форсунок / М.А. Таймаров, Ю.В. Лавирко, Р.В. Ахметова // пат. №170700 Рос. Федерация. № 2016135455; заявл. 31.08.2016; опубл. 03.05.2017. Бюл.№13. 1 с.

15. Форсунка /М.А. Таймаров, Ю.В. Лавирко, Р.В. Ахметова//пат. №174497 Рос. Федерация. № 2016127723; заявл. 08.07.2016; опубл. 17.10.2017. Бюл.№29. 1 с.

Публикации в других изданиях:

16. Ахметова Р.В. Способы повышения эффективности сжигания топлива в энергетических котлах / Р.В. Ахметова, М.А. Таймаров, Э.А. Ахметов // «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы»: сб. мат. докл. Казань, 2016. С.255-261 (общий объем - 0,375 пл., личный вклад - 0,125 п.л.).

17. Ахметова Р.В. Выбор режимов работы котла ТГМ-84Б при сжигании высокосернистого мазута М-100 с содержанием влаги от 3,4 до 10,4 % / Р.В. Ахметова, Н.Е. Кувшинов // XX аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный «Дню энергетика»: сб. мат. докл. Казань, 2016. Т.2. С.8-10 (общий объем - 0,187 пл., личный вклад - 0,01 п.л.).

18. Ахметова Р.В. Экономичность сжигания мазута в котлах ТГМ-84А с использованием механических и паромеханических форсунок / Р.В. Ахметова // XII Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения»: сб. мат. докл. Казань, 2017. Т.2. С. 10 (общий объем - 0,05 пл., личный вклад - 0,05 п.л.).

19. Ахметова Р.В. Сжигание метано-водородной фракции в котлах с вихревыми горелками / М.А. Таймаров М.А., Р.В. Ахметова, Е.А. Салтанаева // II Международная научно-техническая конференция «Энергетические системы»: сб. мат. докл. Белгород, 2017. С.92-99 (общий объем - 0,5 пл., личный вклад - 0,16 п.л.).

20. Ахметова Р.В. Сжигание обводненного мазута в котлах ТЭС / Р.В. Ахметова // XIII Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения»: сб. мат. докл. Казань, 2018. Т.2. С. 10 (общий объем - 0,05 пл., личный вклад - 0,05 п.л.).

Подписано в печать 28.03.2019. Формат 64x80 1/16. Бумага офсетная.
Печать ризографическая. Усл. печ. л. 1,25. Тираж 100. Заказ № 2813/3.

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Вестфалика» (ИП Колесов В.Н.)
420111, г. Казань, ул. Московская, 22. Тел.: 292-98-92 e-mail: westfalika@inbox.ru
