

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D072300 – «Техническая физика»

Хажидиновой Акботы Рыспековны

Экспериментальное исследование и моделирование процессов теплообмена в элементах водогрейных котлов

В диссертационной работе представлены результаты исследования процессов теплообмена в газоходах котельного агрегата; пирометрического обследования топочного пространства и термографической съемки поверхности опускного газохода; компьютерного моделирования процесса теплообмена в воздухоподогревателе водогрейного котла и практические рекомендации по повышению эффективности работы котельных установок в зависимости от состояния конвективных поверхностей нагрева.

Актуальность темы. Качество работы котельного агрегата зависит от того, насколько эффективно внутри него проходят процессы теплообмена. Происходящие последовательно во всех элементах котельного агрегата теплообменные процессы взаимосвязаны между собой. На процесс горения в топочном пространстве влияет температура воздуха, подаваемого из хвостовых поверхностей нагрева. Высокая температура воздуха, поступающего в топочное пространство улучшает процесс воспламенения и горения топлива. Полное сгорание топлива в топочном пространстве уменьшает потери теплоты с механическим и химическим недожегом, предотвращает унос несгоревших частиц топлива в газоходы котла, увеличивает КПД установки. Температура поступающего в топку воздуха, в свою очередь, зависит от интенсивности теплообмена в воздухоподогревателе, где он прогревается теплотой уходящих дымовых газов. Исследованию процессов теплообмена с целью повышения эффективности котельных агрегатах уделяется особое внимание. В основном, рассматриваются теплофизические процессы в топочных устройствах, а закономерности процессов теплообмена в хвостовых поверхностях нагрева, таких как экономайзеры и воздухоподогреватели, изучены в меньшей степени, а именно эти процессы в большой степени влияют на эффективность сжигания топлива. Именно рассматривая теплообменные процессы в топочном пространстве и в воздухоподогревателе можно в полной степени дать оценку работы оборудования и при необходимости внести корректировку в режимные параметры.

Эффективность теплообменных процессов в воздухоподогревателе описывается коэффициентом теплопередачи, зависящим от коэффициентов теплоотдачи, коэффициентов теплопроводности материала стенки и загрязнений, а также конструктивных особенностей теплопередающей поверхности.

Разработка и усовершенствование режимных карт работы энергетического оборудования, созданных на основе исследования процессов

теплообмена, позволяет существенно оптимизировать процесс работы котельного оборудования, уменьшить степень его техногенного воздействия. Однако, исследование теплофизических процессов, возникающих в топочном пространстве и хвостовых поверхностях нагрева осложняется множеством особенностей объектов исследования. Сложный характер процессов теплообмена во всех элементах котельных агрегатов делает необходимым комплексное теоретическое и экспериментальное изучение протекающих в них процессов.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности работы котельного агрегата на основании установления влияния загрязнения низкотемпературных поверхностей нагрева на интенсивность конвективного теплообмена при сжигании непроектного топлива с помощью экспериментальных исследований и компьютерного моделирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- Построение изотермических поверхностей топки котла.
- Определение степени черноты и термографическое исследование воздухоподогревателя.

- Разработка содержательной постановки задачи моделирования и установление граничных условий процессов теплообмена низкотемпературных хвостовых поверхностей нагрева.

- Установление характера изменения зависимостей температур теплоносителей и интенсивности теплообмена (коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи) от степени загрязнения в низкотемпературных конвективных поверхностях нагрева.

- Установление критерия периодичности очистки воздухоподогревателя и влияния газодинамического характера течения среды на эффективность работы котла при изменении температурно-временного воздействия.

Объект исследования – конвективный трубный пучок воздухоподогревателя котла с учетом изменения проходных сечений при различной степени загрязненности трубок отложениями из дымовых газов.

Предмет исследования – процессы теплообмена в высокотемпературных и низкотемпературных поверхностях нагрева котельного агрегата КВ-Т-116,3-150.

Методы исследования.

Для изучения процессов теплообмена в элементах котельного агрегата применялись следующие методы исследования: пирометрическое обследование топочного пространства котельного агрегата при разной теплопроизводительности; термографическое исследование поверхности нагрева опускного газохода; исследование теплофизических процессов с использованием программного комплекса Ansys Fluent на основе метода конечных элементов.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

- разработана новая методика расчета теплофизических параметров процесса теплообмена на базе программного комплекса Ansys Fluent, позволяющая получить полное описание сложных процессов теплопередачи в воздухоподогревателе котельного агрегата. В разработанной расчетной трехмерной теплофизической модели рекуперативного трубчатого воздухоподогревателя отсутствует стенка трубок, создаваемое термическое сопротивление стенки учитывается введением коэффициента эффективной теплопроводности потока дымовых газов $\lambda_{эф}$. Результаты компьютерного моделирования процесса теплообмена в воздухоподогревателе хорошо согласуются с имеющимися фактическими данными, относительное отклонение результатов вычислений не превышает 3%. Разработанная компьютерная модель защищена свидетельством о внесении сведений в Государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом №14347 от 11.01.2021 г;

- определены теплофизические характеристики процесса теплообмена в рекуперативном трубчатом воздухоподогревателе с учетом состояния хвостовых конвективных поверхностей нагрева при работе котла на непроектном топливе;

- установлены зависимости коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи в воздухоподогревателе от степени загрязнения низкотемпературных конвективных поверхностей нагрева при работе котла на непроектном топливе;

- определено влияние газодинамического характера течения среды на эффективность работы котла при изменении температурно-временного воздействия;

- получена полная пространственная картина процесса теплообмена в рекуперативном воздухоподогревателе котельного агрегата, реализованы различные сценарии работы теплообменника в зависимости от загрязненности поверхности теплообмена.

Основные положения, выносимые на защиту:

1 Особенности характера распределения температурных полей по высоте топки водогрейного котла при отклонении от номинальной мощности.

2 Результаты компьютерного моделирования интенсивности теплообмена в низкотемпературных конвективных поверхностях нагрева в зависимости от степени загрязнения.

3 Закономерности влияния газодинамики потока теплоносителей на эффективность конвективного теплообмена в хвостовых поверхностях нагрева котла.

Научная и практическая значимость.

Результаты диссертационного исследования направлены на решение острых практических проблем. Использование непроектного топлива в современных котельных агрегатах ставит задачу исследования процессов теплообмена в газоходах котла с целью повышения эффективности работы теплоэнергетического оборудования, продуктивного использования топливных ресурсов и снижения техногенного воздействия на окружающую среду.

Разработана новая трехмерная компьютерная модель, позволяющая быстро и точно определять теплофизические характеристики интенсивности теплообмена в воздухоподогревателе, контролировать периодичность очистки теплообменника для устранения возможных причин снижения интенсивности теплообмена, что способствует повышению эффективности работы котельной установки. Предложенный способ исследования процессов теплообмена в хвостовых поверхностях нагрева водогрейного котла является наиболее перспективным среди множества путей повышения КПД современных котельных установок. Компьютерная модель применима для расчётов процесса теплообмена в воздухоподогревателях других котельных агрегатов, при использовании непроектных топлив, а также изменении качественного состава топлива.

На основании результатов компьютерного моделирования процесса теплообмена разработаны режимные карты эксплуатации воздухоподогревателя в виде номограмм и графиков определяющих оптимальную работу теплообменника. Номограммы позволяют прогнозировать КПД котельного агрегата в зависимости от теплопроизводительности, скорости нагретого воздуха, температуры уходящих дымовых газов с учетом состояния теплообменной поверхности.

Установлен критерий периодичности очистки воздухоподогревателя от отложений регламентирующий интервал очистки, в виде критического значения температуры уходящих дымовых газов.

Внедрение результатов научно-исследовательской работы в процесс эксплуатации водогрейного котла КВТ-116,3-150 позволило оптимизировать работу агрегата, увеличить продолжительность его бесперебойной работы и годовой коэффициент рабочего времени.

Связь работы с научно-исследовательскими проектами.

В рамках программы финансирования и поддержки талантливой молодежи Фонд Первого Президента РК - Лидера Нации спонсировал поездку для участия в 23 ежегодной Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» в секции «Теплофизика» (Московский энергетический институт, г. Москва, РФ). Результаты исследования внедрены в учебный процесс и на производстве. Свидетельство обладателя Гранта на поездку, Акты о внедрении результатов исследований представлены в Приложении к диссертации.

Личный вклад автора включает постановку цели и задач исследования; проведение опытов по пирометрическому и термографическому исследованию процессов теплообмена в элементах котлоагрегата; разработку и верификацию компьютерной и математической моделей ВЗП; анализ совместно с научными консультантами полученных результатов и формулировку основных выводов; разработку практических рекомендаций.

Степень обоснованности и достоверности результатов, полученных в работе, обеспечивается применением проверенных стандартных методов исследования, многократным проведением экспериментов, использованием современных высокоточных измерительных приборов и установок,

применением лицензионной программы Ansys Fluent 14.5, сопоставлением большого объема экспериментальных данных с полученными ранее результатами исследований в странах СНГ и дальнего зарубежья.

Результаты исследований прошли публичную апробацию: опубликованы в научных журналах, доложены и представлены автором на республиканских и международных конференциях. Экспериментальные исследования по теме диссертационной работы проводились на действующем котельном агрегате ТЭЦ-1 города Семей в условиях его реальной работы, компьютерное моделирование проводилось на базе лаборатории «Экспериментальной теплофизики» НЯЦ РК (г. Курчатова).

Апробация результатов работы.

Материалы диссертационной работы доложены на следующих международных и республиканских конференциях: IV Рос. молод. науч. школке-конф. «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи», г. Томск, РФ, 2016 г.; V Межд. мол. форуме «Интеллектуальные энергосистемы», г. Томск, РФ, 2017 г.; Межд. науч.-практ. конф. «Научные достижения и открытия современной молодежи», г. Пенза, РФ, 2017 г.; 23 Межд. науч.-техн. конф. студ. и асп. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», МЭИ, г. Москва, РФ, 2017 г.; XVI Конференции-конкурсе НИОКР НЯЦ РК, г. Курчатова, РК, 2017 г.; Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы обеспечения продовольственной безопасности Казахстана в условиях глобализации», г. Семей, РК, 2017 г.; Межд. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы производства продуктов питания: состояния и перспективы развития», РК, г. Семей, 2017 г.; 24 ежег. Межд. науч.-техн. конф. студ. и асп. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», МЭИ, г. Москва, РФ, 2018 г.; 11-й Межд. науч.-практ. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент», 2019 г. Кар. ГУ им. ак. Е.А. Букетова, Караганда; Межд. образ. онл.-конф. «Образование – основа евроазиатского сотрудничества», Семей, 2019. Соответствующие дипломы и сертификаты участия представлены в Приложении к диссертации.

Результаты диссертационной работы обсуждались на научных семинарах учебной кафедры технической физики и теплоэнергетики НАО «Университет имени Шакарима города Семей» и кафедре тепловых электрических станций Новосибирского Государственного Технического Университета (Российская Федерация).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы изложены в 18 печатных работах. В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК опубликовано 5 статей, в журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science – 1 (квартиль Q2), получено 1 свидетельство о внесении сведений в Государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом.

Структура и объем диссертации. Работа изложена на 100 страницах и состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников из 121 наименования. В диссертационной работе представлены 40 рисунков и 8 таблиц.