

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)

по специальности «6D072300 – Техническая физика»

Нұғымановой Айжан Олжабекқызы

на тему «**Процессы горения в топочных камерах казахстанских ТЭС, использующих высокозольный уголь**»

Диссертационная работа посвящена исследованию процессов тепломассопереноса и формирования вредных веществ при сжигании низкосортного топлива в топочной камере котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ. Разработаны физико-математическая, химическая и геометрическая модели, которые правильно описывают реальные топочные процессы. Проведены вычислительные эксперименты по исследованию влияния внедрения технологии двухступенчатого сжигания высокозольного карагандинского угля, конструкционных параметров топочной камеры, различных компоновочных решений по горелочным устройствам и способа подачи топливной аэросмеси на основные характеристики процессов тепломассопереноса: аэродинамика течения, распределение температуры и концентрации продуктов горения. С помощью современных компьютерных технологий представлена высокоинформативная 3D визуализация полученных результатов и проведено их сравнение с экспериментальными данными, полученными непосредственно на казахстанской ТЭС.

**Актуальность темы.** Теплоэнергетика является ведущей отраслью мировой энергетики и играет важнейшую роль в развитии промышленности во многих странах мира, но превышает все другие отрасли по объёму выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (частицы золы, диоксид серы, оксиды азота и углерода и др.). В топках энергетических котлов применяется сжигание твердых топлив и в особенности твердых: бурый, каменный уголь, кокс.

Экологическая обстановка в мире и стремление к чистому воздуху в городах заставили многие развитые страны закрывать угольные станции. В то же время в развивающихся странах традиционная дешевая угольная энергетика успешно функционирует, создаются и внедряются новые экологически «чистые» угольные технологии.

Последние события в мире показали, что таких источников энергии, как ветер и солнце, для которых характерно непостоянство (безветренная и холодная погода), может не хватить для того, чтобы обеспечить мир электричеством и теплом. В настоящее время Европа, возглавляющая «зеленую» революцию, вынуждена увеличить потребление угля и переводить сегодня газовые станции на уголь. Таким образом, хотя в перспективе доля угольных станций в мире будет неуклонно снижаться, уголь пока останется одним из основных видов топлива в теплоэнергетике.

Казахстан обладает огромными запасами углеводородов: 33,6 млн. тонн угля – 3,8% мировых запасов, 30 млрд. баррелей нефти – 1,8% мировых запасов и 1,5 трлн. кубометров природного газа – 0,8% мировых запасов, которые оказывают существенное влияние на формирование и состояние

мирового энергетического рынка. Основным топливом казахстанских тепловых электростанций, вырабатывающих до 85% электроэнергии, является уголь (зольность до 40–50%), использование которого приводит к проблемам в стабилизации пламени, шлаковании конвективных поверхностей нагрева, загрязнении воздуха летучей золой, оксидами углерода, азота, углеводородами и другими продуктами сгорания.

В большинстве регионов РК экологическая ситуация не только неблагоприятная, но и катастрофическая. По последним данным, международного энергетического агентства, Казахстан осуществляет 43,7% выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух Центральной Азии, а выбросы CO<sub>2</sub> достигли 12,8 тонн на душу населения в год.

Для существенного экономического развития Казахстана и связанного с этим роста спроса на электроэнергию, необходима принципиальная модернизация существующих энергетических объектов и строительство новых. Конечно, по возможности нужно сменить тип основного топлива и перебраться с угля на газ, что позволит значительно снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Перевести угольную ТЭС на газ теоретически можно, но возникает ряд проблем, которые замедляют этот процесс. Казахский уголь (Экибастузский, Карагандинский, Тургайский угольные бассейны) обладает рядом преимуществ – малая сернистость и высокий выход летучих на сухую беззольную массу. Запасов недорогого угольного топлива достаточно и по оценкам его хватит на сотни лет, в то время как запасы нефти и газа ограничены. При переходе с угля на газ потребуются строительство новых ТЭС или огромные капитальные затраты на модернизацию и переоборудование существующих энергетических котлов.

Хотя в перспективе доля угольных станций будет снижаться, уголь пока останется основным видом топлива для казахстанской теплоэнергетики. Для снижения зависимости энергетического баланса от сжигания угля будет разработан Национальный проект по развитию электроэнергетики, согласно которому Казахстан полностью откажется от использования угля к 2060 году. В этой связи в условиях ужесточения требований к окружающей среде одной из **актуальных задач** современной отечественной теплоэнергетики становится и внедрение на казахстанских угольных ТЭС энергоэффективных экологически «чистых» технологий, с помощью которых можно контролировать процессы образования вредных веществ и предлагать методы уменьшения их выбросов в атмосферу.

Залогом дальнейшего развития республиканского топливно-энергетического комплекса страны наряду с инновационными угольными разработками являются информационные технологии, применяемые в настоящее время в теплоэнергетике развитых стран. Внедрение современных энергетических технологий определяет уровень разработки методов расчета соответствующих физико-химических процессов, протекающих при горении топлива в топочных камерах ТЭС, с расчетно-теоретическими и экспериментальными исследованиями процессов движения и нагрева частиц

топлива, их последующих превращений в топочном пространстве и процессов формирования вредных пылегазовых выбросов.

В последнее время широко используются современные компьютерные технологии, на которых основываются моделирование процессов тепломассопереноса при горении топлива в топках энергетических котлов. Компьютерные технологии позволяют проводить вычислительные эксперименты и получать результаты, которые хорошо описывают экспериментальные данные, полученные непосредственно на действующем энергетическом объекте.

**Цель работы:** Для внедрения метода двухступенчатого сжигания высокозольного казахстанского угля, эффективных конструктивных и компоновочных решений по горелочным устройствам методами 3D компьютерного моделирования исследовать процессы тепломассопереноса и формирования вредных веществ в топочной камере котла БКЗ-75 действующей Шахтинской ТЭЦ и предложить оптимальные варианты минимизации выбросов оксидов углерода и азота в атмосферу.

#### **Задачи исследования**

- для проведения вычислительных экспериментов **разработать** физико-математическую, химическую и геометрическую модели, которые правильно описывают реально существующие технологические процессы сжигания низкосортного угля в топочной камере котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ;

- **провести** вычислительные эксперименты по исследованию влияния различных способов ввода топлива (прямоточный и вихревой с углом закрутки пылеугольного потока) через горелочные устройства на топочные процессы и определить оптимальный вариант подачи аэросмеси в камеру сгорания;

- для оптимизации процесса горения **провести** вычислительные эксперименты по исследованию аэродинамических, тепловых и концентрационных полей в топочной камере котла БКЗ-75 при пониженной нагрузке котла;

- **провести** вычислительные эксперименты по исследованию влияния технологии двухступенчатого сжигания высокозольного карагандинского угля на характеристики топочных процессов и определить оптимальный вариант подачи дополнительного воздуха для эффективного снижения уровня выбросов вредных веществ;

- **получить** с помощью современных компьютерных технологий высокоинформативную 3D визуализацию полученных результатов и провести их верификацию, сравнив их с имеющимися экспериментальными данными, полученными непосредственно на ТЭС.

**Объект исследования:** топочная камера котла БКЗ-75 действующей Шахтинской ТЭЦ (г. Шахтинск, Казахстан).

**Предметом исследования** являются процессы тепломассопереноса и формирования вредных веществ при сжигании высокозольного карагандинского угля (зольность 35,1%) в топочной камере котла казахстанской ТЭС.

**Методы исследования.** Для исследования процессов тепломассопереноса в топочных камерах с целью разработки экологически «чистых» угольных технологий применялись численные методы и проводились вычислительные эксперименты. Их использование позволяет добиться геометрического и физического подобия исследуемых объектов, соблюдения всех основных параметров и режимных условий, адекватных технологической схеме сжигания топлива на реальном энергетическом объекте.

#### **Новизна диссертационного исследования**

- исследовано влияние закрутки пылеугольного потока на характеристики процессов тепломассопереноса (вектор полной скорости, распределение температуры, концентрации продуктов горения);
- исследованы основные характеристики топочных процессов при пониженной нагрузке котла;
- исследованы различные режимы подачи дополнительного воздуха в топочное пространство через OFA-инжекторы: 0% (базовый вариант), 5%, 10%, 15%, 18%, 20%, 25% и 30% от общего объема воздуха.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1 При использовании вихревых горелок с закруткой потока аэросмеси и наклоном их к центру симметрии котла БКЗ-75 на 30 градусов средние значения концентраций оксида углерода CO и диоксида азота NO<sub>2</sub> на выходе из топочной камеры уменьшаются на 15 и 20% соответственно.

2 Использование вихревых горелочных устройств в режиме снижения нагрузки котла приводит к уменьшению значений концентраций вредных веществ (оксида углерода CO и диоксида азота NO<sub>2</sub>) на выходе из топочного пространства соответственно на 34 и 8%.

3 При использовании технологии двухступенчатого сжигания топлива в котле БКЗ-75 оптимальным вариантом снижения концентрации оксида углерода CO на 36% и диоксида азота NO<sub>2</sub> на 25% на выходе из топки является использование OFA-инжекторов с подачей через них 18% от общего объема воздуха.

#### **Теоретическая и практическая значимость результатов**

**Теоретическая значимость** исследований состоит в получении фундаментальных знаний, которые могут быть применены для построения современной теории горения различного вида топлива и рационального его использования. Разработанные методы моделирования для проведения вычислительных экспериментов и высокоинформативной 3D визуализации результатов исследования будут способствовать развитию вычислительной гидродинамики, математического и компьютерного моделирования.

Результаты исследования топочных процессов с целью внедрения на угольных ТЭС экологически «чистых» энергетических технологий имеют **практическое значение** поскольку внесут вклад в решение актуальных проблем теплоэнергетики и экологии. Полученные результаты позволяют эффективно управлять процессами горения топлива в реальных энергетических установках с необходимым воздействием на различные его

параметры и дают рекомендации по оптимизации процессов горения энергетических топлив и минимизации вредных пылегазовых выбросов. Заинтересованными могут быть действующие угольные ТЭС Казахстана и стран с традиционной угольной энергетикой (Россия, Китай, Индия и др.).

**Личный вклад автора.** Автор принимала участие во всех основных этапах исследовательской работы: постановка задачи исследования, выбор объекта исследования, разработка моделей процессов сжигания высокосолевого топлива и анализ результатов. Самостоятельно провела вычислительные эксперименты и использовала метод 3D визуализации для графической интерпретации полученных результатов.

#### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 13 научных работ (11 статей, 2 тезиса), в том числе 8 статей в журналах, индексируемых Scopus и Web of Science, и 3 – в изданиях, рекомендованных КОКСОН МОН РК.

#### **Апробация диссертационной работы.**

Приведенные в данной работе результаты исследований обсуждались на следующих международных конференциях: The International Congress of Chemical and Process Engineering (Prague); «Фараби элемеі»; First International Alternative Energy Sources, Materials & Technologies (Bulgaria); International Academic Conferences: Engineering (Prague); X Всероссийская конференция с международным участием «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения» (Новосибирск); First Annual Meeting of Kazakh Physical Society Nazarbayev University (Нур-Султан).

**Достоверность и обоснованность полученных результатов** обеспечиваются использованием фундаментальных физических законов, тщательным анализом реализованных эмпирических моделей, применением современных численных методов, сопоставлением результатов с имеющимися расчетными и экспериментальными данными, полученными в ходе натурных измерений на действующем энергетическом объекте.

**Связь темы с планами научных работ.** Диссертационная работа выполнена по программе грантового финансирования научных и научно-технических проектов МОН РК: «Создание новых компьютерных технологий 3D моделирования процессов тепломассопереноса в высокотемпературных физико-химически реагирующих средах» и «Внедрение OFA-Technology с целью минимизации вредных пылегазовых выбросов на казахстанских ТЭС, использующих высокосолеватый уголь».

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 123 страниц, включает в себя 67 рисунков, 14 таблиц.