

## **ЧИСЛЕННОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОГО РОЗЖИГА ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА**

А.Ф. Булат, А.И. Волошин, П.И. Кудинов

Институт геотехнической механики НАН Украины, НИЦ “Экология-Геос”,  
Днепропетровский национальный университет. web: <http://XOptimum.narod.ru>

В настоящее время в Украине эксплуатируется около 200 котлов различной мощности, работающих на углях марки антрацитовый штыб (АШ). В последнее время заметно снизилось качество добываемого угля (зольность, калорийность) и существенно возросла потребность в высокорекреационном подсветочном топливе – природном газе и мазуте (доля мазута в тепловом балансе котла достигает 40 %). Однако, при совместном сжигании мазута и угля, марки АШ, имеют место значительный механический недожог угля и повышение уровня вредных выбросов в атмосферу. Кроме того, в последнее время на тепловых электростанциях остро ощущается дефицит мазута и газа.

Для эффективного сжигания низкорекреационных высокозольных углей в котлах тепловых электростанций (ТЭС) предлагается новая технология, разработанная Научно-инженерным центром «Экология-Геос», Институтом геотехнической механики НАН Украины, Государственным конструкторским бюро «Южное» и Приднепровской ТЭС. Сущность технологии термохимической подготовки топлива (ТХПТ) заключается в плазменной обработке угольной аэросмеси в закрученном потоке специального реактора перед вводом в котел. В результате такой обработки частицы угля, претерпевают изменения, как по химическому, так и по дисперсному составу, воспламеняются, и начинают выделять тепло, которое служит инициатором горения остальных частиц.

Данная технология является результатом комплексных, фундаментальных и прикладных исследований [1, 2, 3]. Для оценки конструктивных параметров реактора ТХПТ были разработаны математические модели и численные методики расчета движения и теплообмена в турбулентном закрученном потоке с горящими угольными частицами. Для воздуха применялась модель существенно дозвукового течения с плотностью зависящей только от температуры, а также двухпараметрическая  $k$ - $\epsilon$  модель турбулентности [4, 5]. Для описания движения и теплообмена частиц угля применялась траекторная модель. Горение частиц описывалось с помощью полуэмпирической модели [6], основанной на балансе тепла переносимого конвекцией и излучением, а также тепла выделяемого в процессе горения частицы. Верификация разработанных математических моделей и численных алгоритмов

была проведена на тестовых задачах об изотермическом турбулентном течении в трубе с закруткой потока и без [5].

Были проведены расчеты, которые позволили определить зависимости динамических характеристик частиц различных диаметров от аэродинамических параметров несущего потока. Выполнены оценки зависимости времени воспламенения и выгорания частиц угля во вращающемся осесимметричном неадиабатическом потоке воздуха. Исследовано влияние концентрации кислорода и зольности топлива на воспламенение частиц. Рассмотрено влияние параметров турбулентности во входном сечении и мощности источника плазмы на распределение температуры в камере реактора ТХПТ. На основе расчетных данных была разработана принципиальная схема и проектно-конструкторская документация на опытный образец реактора ТХПТ, который был изготовлен и испытан на Приднепровской ТЭС (г. Днепропетровск).

На опытном образце реактора были проведены эксперименты по измерению поля температуры в камере реактора с подачей пыли и без. На рис. 1 показано сравнение результатов расчетных и экспериментальных данных по распределению температуры в поперечных сечениях реактора без подачи пыли.

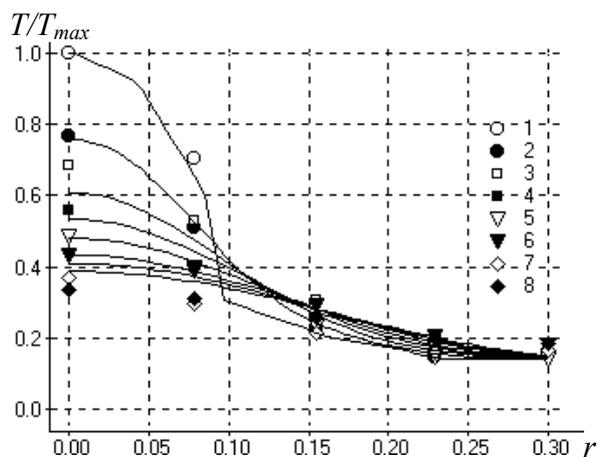


Рис. 1. Распределение безразмерной температуры газа  $T/T_{max}$  по радиусу  $r$ , м. Точки 1–8 измерения в сечениях по продольной координате: 1 – 0.0, м; 2 – 0.2, м; 3 – 0.4, м; 4 – 0.6, м; 5 – 0.8, м; 6 – 1.0, м; 7 – 1.2, м; 8 – 1.4, м. Линии – расчетные данные для тех же сечений.

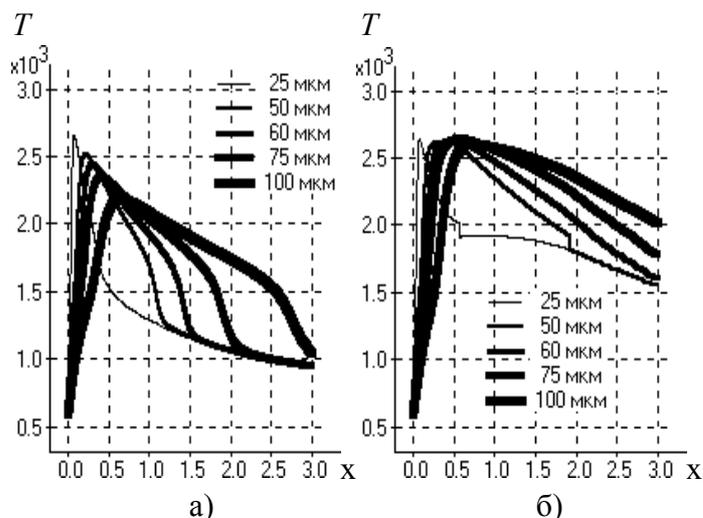


Рис. 2. Изменение температуры  $T$ , °К частиц различных диаметров при движении в камере реактора а) – расход угля 0.5 кг/с; б) – расход угля 1.0 кг/с

На рис. 2 показаны результаты расчетов температуры частиц различных диаметров при движении в камере реактора. Расчеты показали, что повышение расхода угольной пыли при недостаточной мощности плазматрона приводит к понижению температуры аэросмеси на выходе из реактора. Если мощность плазматрона достаточна для того, чтобы нагреть

аэросмесь на начальном участке до температуры выше 1500 °К, то увеличение расхода пыли приводит к увеличению выделения тепла за счет горения частиц и росту температуры аэросмеси на выходе из реактора рис. 2. Серия испытаний с лабораторной подачей пыли показала, что температура аэросмеси, проходящей через реактор и подаваемой в котел, повышается до 900 – 1100°С.

В целом результаты расчетов и испытаний подтвердили работоспособность новой технологии для подготовки и розжига пылеугольной аэросмеси. Проведение управляемой реакции ТХПТ в аэродинамическом реакторе способствует эффективному воспламенению и сжиганию угля марки АШ. Разработанная технология позволяет уменьшить использование мазута и природного газа, уменьшить механический недожог угля, повысить КПД котла, снизить себестоимость электроэнергии.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии только на одном котле Приднепровской ТЭС по оценочным расчетам на сегодняшний день составит около 2 млн. долл. США. Широкомасштабное внедрение предлагаемой технологии в топливно-энергетическом комплексе Украины позволит решить актуальные технические и экономические проблемы энергетики и получить годовой экономический эффект по отрасли порядка 350 – 400 млн. долл. США.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф., Волошин А.И., Кудинов П.И. Технология плазменной подготовки пылеугольного топлива // Труды III российской национальной конференции по теплообмену. -М: Издательство МЭИ. 2002. Т.3. С.173-176.
2. Волошин А.И., Пономарев Б.В. Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов. Киев: Наукова думка, 2001. 519 с.
3. Кудинов П. И. Метод расчета процессов гидродинамики и теплообмена в неортогональных криволинейных координатах // Вісник Дніпропетровського університету. Механіка. 1998. Т.1. Вип.1. С. 117–125.
4. Launder В.Е, Spalding D.В. The numerical computation of turbulent flows // Computational methods in applied mechanics and engineering. 1974. Vol.3, P.269-289.
5. Мартинузи Р., Поллард А. Исследование применимости различных моделей турбулентности для расчета турбулентных течений в трубах. Часть II. Дифференциальные модели для напряжений и (k-ε) - модели // АКТ, 1990. №7. С.33-42.
6. Бабий В.И., Куваев Ю.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. М.: Энергоатомиздат, 1986. 208 с.

## **РЕЗЮМЕ**

Разработана технология плазменной термохимической подготовки пылеугольного топлива (ТХПТ). Для определения конструктивных параметров технологии предложена математическая модель, описывающая процессы теплообмена в турбулентном закрученном потоке с горящими угольными частицами. Приведены результаты расчетов и экспериментальных исследований температурного поля в камере реактора ТХПТ при с подачей угольной пыли и без.

## **РЕЗЮМЕ**

Розроблена технологія плазмової термохімічної підготовки пилевугільного палива (ТХПТ). Для визначення конструктивних параметрів технології запропонована математична модель, що описує процеси теплообміну в турбулентному закрученому потоці з палаючими вугільними частинками. Наведені результати розрахунків та експериментальних досліджень температурного поля в камері реактора ТХПТ з подачею пилувугільного палива і без.

## **RESUME**

The technology of plasma thermochemical preparation of coal powder fuel (TCP CF) is developed. For definition of design data of the technology the mathematical model describing processes of heat and mass transfer in a swirl turbulent flow with burning coal particles is offered. Results of calculations and experimental evaluations of a temperature field in chamber of the TCP CF reactor at with supply of coal powder and without are presented.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф., Волошин А.И., Кудинов П.И. Технология плазменной подготовки пылеугольного топлива // Труды III российской национальной конференции по теплообмену. -М: Издательство МЭИ. 2002. Т.3. С.173-176.
2. Волошин А.И., Пономарев Б.В. Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов. Киев: Наукова думка, 2001. 519 с.
3. Кудинов П. И. Метод расчета процессов гидродинамики и теплообмена в неортогональных криволинейных координатах // Вісник Дніпропетровського університету. Механіка. 1998. Т.1. Вип.1. С. 117–125.
4. Launder В.Е, Spalding D.В. The numerical computation of turbulent flows // Computational methods in applied mechanics and engineering. 1974. Vol.3, P.269-289.
5. Мартинузи Р., Поллард А. Исследование применимости различных моделей турбулентности для расчета турбулентных течений в трубах. Часть II. Дифференциальные модели для напряжений и (к-е) - модели // АКТ, 1990. №7. С.33-42.
6. Бабий В.И., Куваев Ю.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. М.: Энергоатомиздат, 1986. 208 с.

## СПИСОК ПОДРИСУНОЧНЫХ ПОДПИСЕЙ

Рис. 1. Распределение безразмерной температуры газа  $T/T_{max}$  по радиусу  $r$ , м. Точки 1–8 измерения в сечениях по продольной координате: 1 – 0.0, м; 2 – 0.2, м; 3 – 0.4, м; 4 – 0.6, м; 5 – 0.8, м; 6 – 1.0, м; 7 – 1.2, м; 8 – 1.4, м. Линии – расчетные данные для тех же сечений.

Рис. 2. Изменение температуры  $T$ , °К частиц различных диаметров при движении в камере реактора а) – расход угля 0.5 кг/с; б) – расход угля 1.0 кг/с