

УДК: 539.141; 537.868

ПЛАЗМОХИМИЯ И ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

В.Е. Мессерле, А.Б. Устименко, К.А. Умбеткалиев

Институт проблем горения, 050012, ул. Богенбай Батыра, 172, Алматы, Казахстан

ТОО «НТО Плазмотехника», 050010, ул. Зверева 22, Алматы, Казахстан

e-mail: ust@physics.kz

Аннотация

В настоящей статье представлен краткий обзор развития плазменной технологии воспламенения твердых топлив на пылеугольных ТЭС России, Казахстана, Китая и других стран Евразии. Представлены схемы компоновки и технико-экономические характеристики плазменно-топливных систем, установленных на различных пылеугольных котлах, а также некоторые результаты применения плазменно-топливных систем на пылеугольных тепловых электростанциях.

Ключевые слова: плазменная технология, твердое топливо, тепловые электростанции, воспламенение, природный газ

Введение

Для повышения эффективности использования твердых топлив, снижения доли мазута и природного газа в топливном балансе тепловых электростанций (ТЭС) и снижения вредных пылегазовых выбросов была разработана крупномасштабная плазменная технология воспламенения, термохимической подготовки и сжигания углей, в которой плазмохимия и процессы горения топлива неразрывно связаны [1-4]. Плазмохимические основы термохимической подготовки топлива к сжиганию были сформулированы совместно с «отцом плазмохимии» профессором Л.С. Полаком [5].

В 1980 году по инициативе Госкомитета по науке и технике СССР Госплан СССР утвердил программу ОЦ.008 «Плазмохимическая переработка углей и шламов гидрогенизации углей» для решения проблемы эффективной и экологически приемлемой утилизации низкосортных твердых топлив. Главными организациями по разработке технологии и плазменного оборудования были определены ИНХС АН СССР, КазНИИ Энергетики Минэнерго СССР и Институт Теплофизики СО АН СССР. По результатам этой программы в 1986 году была разработана отраслевая научно-техническая программа Минэнерго СССР ОНТП 00.00.01. «Повышение эффективности использования низкосортных топлив на тепловых электростанциях». Главными организациями

были назначены ВТИ и КазНИИ Энергетики Минэнерго СССР.

Разработанная технология и плазменно-топливные системы (ПТС) для ее осуществления были успешно испытаны в 1989 году на Усть-Каменогорской ТЭЦ (Казахстан) и на Мироновской ГРЭС (Украина), в 1995 году на Баодийской ТЭС (Китай) и в 1996 на Алматинской ТЭЦ-3 (Казахстан). В 1995 году работы по дальнейшему развитию и внедрению ПТС получили мощный импульс в России (г.Гусиноозерск), где для этих целей был создан Отраслевой Центр Плазменно-Энергетических технологий РАО «ЕЭС России», научным консультантом которого являлся Главный ученый секретарь Президиума СО РАН академик М.Ф. Жуков [6]. С 1998 года по настоящее время совершенствование плазменных технологий переработки твердых топлив продолжается в рамках совместных проектов представителями отраслевой, академической и вузовской науки. Так, в 2000 году профессор З.А. Мансуров, в то время заведующий кафедрой химической физики, и первый проректор КазНУ им. аль-Фараби, инициировал создание лаборатории плазмохимии в Институте проблем горения. Лаборатория плазмохимии под руководством профессора В.Е. Мессерле была создана в 2002 году. В рамках выполняемых в лаборатории Международных грантов и научно-технических проектов МОН РК развитие плазмохимических технологий получило дополнительный импульс [7-14].

Таблица 1. Промышленные испытания ПТС на ТЭС Евразии

№	Месторасположение ТЭС	Тип и количество котлов с ПТС	Паропроизводительность одного котла, т/ч	Количество ПТС, установленных на ТЭС, шт.
Российская Федерация				
1.	Гусиноозерская ГРЭС (г. Гусиноозерск, 1994-1995)	ТПЕ-215 – 2 котла БКЗ-640 – 2 котла	670 640	8 7
2.	Черепетская ГРЭС (г. Суворов, 1997)	ТП-240 – 1 котел	240	4
3.	Нерюнгринская ГРЭС (г. Нерюнгри, 1997)	КВТК-100 – 1 котел	Тепловая мощность 116 МВт	2
4.	Партизанская ГРЭС (г. Партизанск, 1998)	ТП-170 – 1 котел	170	2
5.	Улан-Удэнская ТЭЦ-2 (г. Улан-Удэ, 1997)	ТПЕ-185 – 1 котел	160	2
6.	Хабаровская ТЭЦ-3 (г. Хабаровск, 1998)	ТПЕ-216 – 1 котел	670	4
Украина				
7.	Кураховская ТЭС (г. Курахово, 1998-1999)	ТП-109 – 1 котел	670	4
8.	Мироновская ГРЭС (г. Мироновка, 1989)	ТП-230 – 1 котел	230	2
Казахстан				
9.	Усть-Каменогорская ТЭЦ (г. Усть-Каменогорск, 1989)	ЦКТИ-75 – 2 котла	75	4
10.	Алматинская ГРЭС (г. Алма-Ата, 1996)	БКЗ-160 – 1 котел	160	2
11.	Алматинская ТЭЦ-2 (г. Алматы, 2011-2013)	БКЗ-420 – 1 котел	420	3
Монголия				
12.	Улан-Баторская ТЭЦ-4 (г. Улан-Батор, 1994)	БКЗ-420 – 8 котлов	420	16
13.	Эрдэнэтская ТЭЦ (г. Эрдэнэт, 1995)	БКЗ-75 – 1 котел	75	1
Китай				
14.	Баодийская ТЭС (г. Баоди, 1995)	Ч-200 – 1 котел	200	3
15.	Шаогуанская ТЭС (г. Шаогуан, 1999-2001)	F-220/100-W – 1 котел K-75 – 1 котел	230 75	4 1
16.	ТЭС «Золотая Гора» (г. Шеньян, 2007)	BG-75/39-M – 1 котел	75	2
17.	ТЭС «Ганшун» (г. Шанси, 2009)	BG-950/150 – 1 котел	950	4
Северная Корея				
18.	Восточно-Пхеньянская ТЭС (г. Пхеньян, 1993)	E-210 – 1 котел	210	3
Словакия				
19.	ТЭС «Вояны» (г. Велки-Капушаны, 2000)	TAVICI – 1 котел	350	2
Сербия				
20.	Белградская ТЭС «Никола Тесла» (г. Обреновац, 2008)	ТП-210 – 1 котел	650	16

Таблица 2. Теплотехнические характеристики углей

Тип угля	W^w	A^d	V^{daf}	Q_l^w (ккал/кг)
Сланец	40-50	75-80	48-50	1600-2000
Лигнит	32-40	28-35	23-27	1900-2100
Бурый	25-35	15-20	35-50	3000-3800
Каменный	5-12	20-56	15-40	4000-5000
Антрацит	5-8	25-35	4-10	4300-6200
Угольная смесь	10.4	48.5	38.2	3150

Обозначения: W^w – содержание влаги на рабочую массу; A^d – содержание золы на сухую массу; V^{daf} – выход летучих на горючую массу; Q_l^w – низшая теплота сгорания угля на рабочую массу.

За этот период разработано и испытано на ТЭС три поколения ПТС (таблица 1). Из таблицы видно, что ПТС установлены и испытаны в России, Казахстане, Украине, Корее, Китае, Словакии, Сербии и Монголии на 31 котле паропроизводительностью от 75 до 950 т/ч, оснащенных различными системами пылеприготовления (прямого вдувания и с промбункером) и разными типами пылеугольных горелок (прямоточные, муфельные и вихревые). При испытаниях ПТС сжигались все типы энергетических углей (бурые, каменные, антрациты и их смеси) с содержанием летучих от 4 до 50%, зольностью от 15 до 56% и теплотой сгорания от 1600 до 6200 ккал/кг (таблица 2).

В ПТС первого поколения использовался плазмотрон с подаваемым стержневым графитовым катодом и кольцевым медным водоохлаждаемым анодом. ПТС первого поколения были внедрены на котле Ч-200 Баодийской ТЭС. Компания Yantai Longyuan Electric Power Technology Co., Ltd (Китай), модернизировав эти ПТС первого поколения, распространила их еще на 400 котлах Китая с установленной мощностью более 160 млн кВт [15]. В настоящее время более 600 пылеугольных котлов в Китае оснащены системами плазменного воспламенения углей [16].

В ПТС второго поколения (1996-2001) использовались плазмтроны уже со сменными медными водоохлаждаемыми катодом и анодом. Источники электропитания обеспечивали устойчивую параллельную работу одновременно нескольких плазмтронов от одного трансформатора. При испытаниях ПТС второго поколения на Шаогуанской ТЭС (Китай) в 1999-2001 гг. от одного трансформатора работало 8 ПТС. В 2007 году на котле ВГ-75/39-М ТЭС «Золотая

Гора» (Gold Mounting) в г. Шеньян (Китай) испытаны ПТС третьего поколения. В отличие от предыдущих поколений ПТС был обеспечен безосцилляторный пуск и безбалластный режим работы плазмтронов. Мощность плазмтрона может варьироваться в широком интервале от 80 до 300 кВт [17].

Для интенсификации внедрения ПТС на ТЭС Китая в 2005 году на 9 сессии подкомиссии по Российско-Китайскому научно-техническому сотрудничеству принято Постановление № 9-29 от 19.08.2005 о Межгосударственном сотрудничестве Отраслевого Центра Плазменно-Энергетических технологий РАО «ЕЭС России» с Харбинской компанией «9 материков» по производству установок экономичного сжигания угля» (Китай) по направлению «Технология плазменной безмазутной растопки пылеугольных котлов тепловых электростанций (ТЭС)»

В мировой теплоэнергетике при растопке пылеугольных котлов из холодного или горячего состояния и стабилизации горения (подсветке) пылеугольного факела используют топочный мазут стоимостью 500-600 долларов США за 1 тонну. В мире на эти цели расходуют более 50 млн. тонн мазута в год. На ТЭС растопка котлов (время растопки 3-12 час) производится несколько раз в год (до 25 пусков ежегодно на один котел), а подсветка пылеугольного факела осуществляется периодически при потускнении факела или снижении нагрузки. Для котлов различной паропроизводительности в соответствии с "Инструкцией по их эксплуатации" расходуется разное количество мазута (таблица 3).

При использовании ПТС мазут заменяют самой угольной пылью, подвергаемой термохимической подготовке в объеме

пылеугольной горелки с использованием электродуговых плазмотронов постоянного тока, являющихся основным элементом ПТС.

Технология ПТС основана на плазменной термохимической подготовке угля к сжиганию.

Таблица 3. Расход мазута на котлах различной паропроизводительности

Паропроизводительность котла, т/ч	Расход мазута на 1 растопку, т
50-75	3-6
160-200	10-25
220-420	30-80
640-670	80-100
950	100-140
1650	150-250
2650	250-350

Она заключается в нагреве аэросмеси (угольная пыль + воздух) электродуговой плазмой до температуры выхода летучих угля и частичной газификации коксового остатка. Тем самым из исходного угля получают высокорекреационное двухкомпонентное топливо (горючий газ + коксовый остаток). При его смешении с вторичным воздухом в топке котла двухкомпонентное топливо воспламеняется и устойчиво горит без дополнительного топлива (мазут или газ), традиционно используемого для растопки котлов и подсветки пылеугольного факела.

На рис.1 и 2 представлены схемы основных типов, разработанных прямоточных и вихревых ПТС, которые иллюстрируют процесс плазменной термохимической подготовки угля к сжиганию. Из рисунков видно, что холодная аэросмесь ($T < 350$ К) поступает в ПТС, где она нагревается в зоне плазменного факела до температуры образования высокорекреационного двухкомпонентного топлива. Последнее интенсивно воспламеняется только в топке котла, так как весь кислород аэросмеси расходуется на частичную газификацию углерода угля.

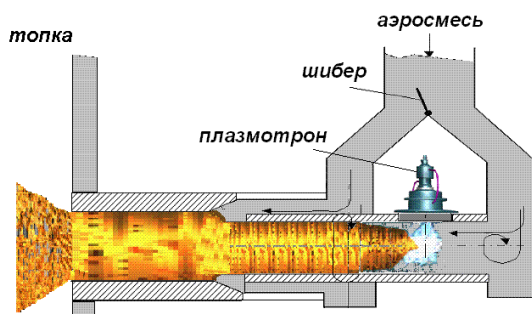


Рис. 1 - Вихревая ПТС

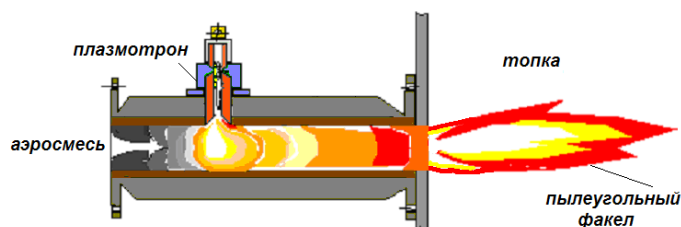


Рис. 2. Прямоточная ПТС

В последнее время значительный интерес к использованию ПТС на ТЭС помимо Китая, где 87% электроэнергии вырабатывается на

пылеугольных ТЭС, проявляют Казахстан, Россия, Турция, Корея и Индия, в которых доля пылеугольных ТЭС в энергетике составляет 80,

30, 47, 50 и 70% соответственно. В настоящее время для некоторых из этих стран выполняются проекты оснащения ПТС с плазмотронами постоянного тока номинальной мощностью 200 кВт пылеугольных котлов с паропроизводительностью от 75 до 1650 тонн в час для Шахтинской ТЭЦ (Казахстан), Рефтинской ГРЭС (Россия), ТЭС Ятаган (Турция), ТЭС Шан-си и ТЭС Южное море - Цзин-нэн (Китай), ТЭС ТаеАн (Корея) [18]. На рис. 3-6 представлены технические решения по оснащению пылеугольных котлов ПТС на вышеупомянутых ТЭС. Характеристики

плазмотрона, как основного элемента ПТС, устанавливаемых на этих ТЭС, приведены в таблице 4.

На рис. 3 представлен поперечный разрез топki котла RFK-210 мощностью 210 МВт и расходом лигнита (см. таблицу 2) 250 т/ч. Котел оснащен 48 прямоточными пылеугольными горелками, распределенными по 6 блокам и расположенными в четыре яруса. 12 плазмотронов устанавливается в муфелизированные каналы горелок нижнего яруса, обеспечивая воспламенение лигнита с расходом до 7.25 т/ч через каждый канал.

Таблица 4. Технические характеристики плазмотрона

Мощность плазмотрона, кВт	50-350
Напряжение, В	250-400
Ток дуги, А	200-900
Масса плазмотрона, кг	25-35
Ресурс электродов плазмотрона, ч	250 (катод); 500 (анод)
Расход плазмообразующего газа (воздух), кг/ч	20-80
Температура плазменного факела, К	3000-6000
Масса источника электропитания, кг	450

На рис. 4 показана схема установки ПТС на одном корпусе двухкорпусного котла ПК-39-II мощностью 300 МВт и расходом каменного угля 83 т/ч на один корпус котла. Топка корпуса оснащена 12 вихревыми пылеугольными горелками, расположенными по 6 горелок с фронта и с тыла в два яруса. Расход угольной

пыли через каждую горелку составляет 7 т/ч. Вместо 6 основных пылеугольных горелок нижнего яруса устанавливается 6 вихревых ПТС, обеспечивающих безмазутную растопку котла и стабилизацию горения пылеугольного факела.

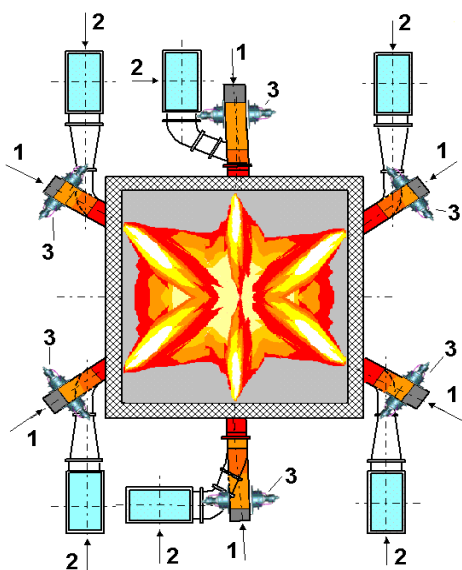


Рис. 3. Компоновка ПТС с топкой котла RFK-210 ТЭС Ятаган (Турция): 1 – аэросмесь; 2 – вторичный воздух; 3 – плазмотрон на прямоточной ПТС.

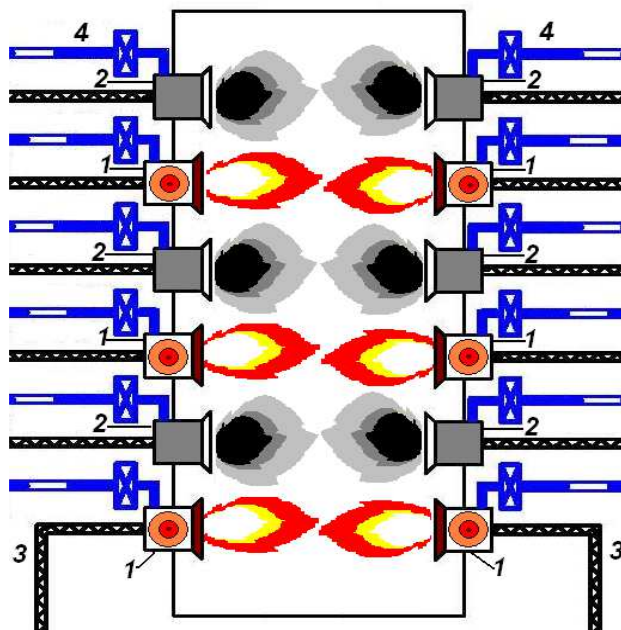


Рис. 4. Компоновка ПТС с топкой двухкорпусного котла ПК-39-II Рефтинской ГРЭС (Россия): 1 – вихревая ПТС; 2 – основная пылеугольная горелка; 3 – аэросмесь; 4 – вторичный воздух.

Схема установки прямоточных ПТС на котле ВГ-75/39-М приведена на рис. 5. Котел оснащен 8 пылеугольными горелками, расположенными по углам котла в два яруса. Котел работает на низкосортном каменном угле (см. таблицу 3).

Номинальный расход угля на котел 18,75 т/ч, а через одну горелку 2,35 т/ч. 2 ПТС были установлены в нижнем ярусе горелок с фронта котла. Изнутри горелки футерованы керамическими вставками толщиной 50 мм. В процессе испытаний ПТС через 5-10 сек после включения плазматронов и подачи угольной пыли на выходе обоих ПТС были получены факелы красного цвета с температурой 850-900 °С. Мощность каждого плазматрона составляла 160 кВт ($I=400$ А, $U=400$ В).

При расходе угольной пыли через каждую ПТС 2 т/ч концентрация пыли в аэросмеси составляла 0,5-0,6 кг/кг. Через 20 минут работы ПТС температура факелов в топке достигла 1300 °С и наблюдалось устойчивое горение топлива в топке при работающих плазматронах.

После достижения устойчивого горения в топке и подачи угольной пыли через основные пылеугольные горелки, не оборудованные плазматронами, и дальнейшего роста параметров котла (давление и температуры пара, температуры вторичного и первичного воздуха) испытания плазменной безмазутной растопки были завершены.

На рис. 6 показана компоновка двух ПТС с топкой котла БКЗ-75, оборудованного четырьмя аксиально-лопаточными вихревыми трехканальными пылеугольными горелками, установленными по две горелки с фронта и с тыла в один ярус.

Расход пыли Карагандинского каменного угля зольностью 35,1% через каждую горелку составляет 3,2 т/ч. 2 ПТС устанавливаются с фронта котла и обеспечивают безмазутный режим работы котла при его растопке и стабилизации горения пылеугольного факела.

Для демонстрации преимуществ ПТС в таблице 5 приведено сравнение основных показателей мазутной и плазменной технологий растопки котлов и подсветки пылеугольного факела. Как видно из таблицы применение ПТС только на ТЭС России и Казахстана обеспечит экономию топочного мазута стоимостью около 1,2 млрд. долл. США и снижение эксплуатационных затрат на 70 %.

Использование ПТС обеспечивает повышение эффективности воспламенения и сжигания энергетических углей, позволяет исключить расходование дефицитного мазута на растопку и подсветку котла, снизить мехнедожог топлива, а также обеспечивает широкие возможности для автоматизации процесса розжига, стабилизации горения пылеугольного факела в котлах и уменьшения вредных выбросов в окружающую среду.

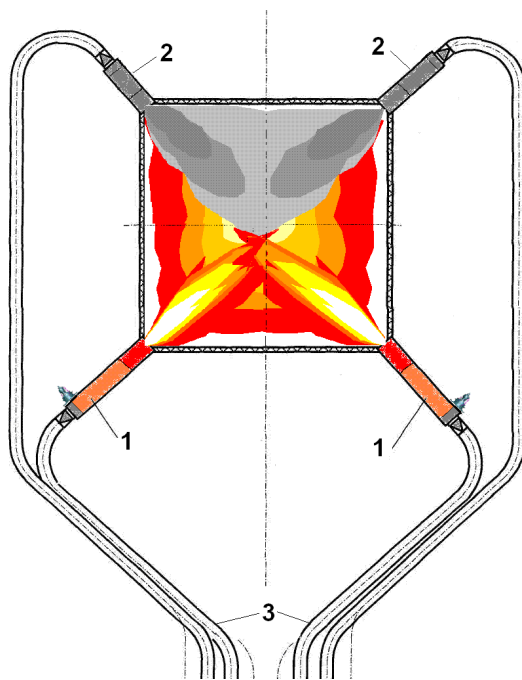


Рис. 5. Компоновка ПТС с топкой котла ВГ-75/39-М ТЭС «Золотая Гора» (Китай): 1 – прямоточная ПТС; 2 – основная пылеугольная горелка; 3 – пылепровод.

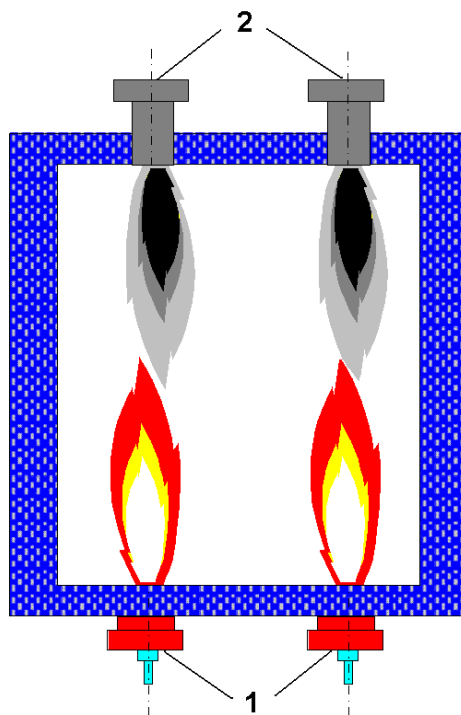


Рис. 6. Компоновка ПТС с топкой котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ (Казахстан): 1 – вихревые ПТС; 2 – основные пылеугольные горелки.

Таблица 5. Сравнительные показатели традиционной и плазменной технологий

Существующая технология (с мазутным хозяйством)	Плазменная технология (с ПТС)
1. Расход мазута на ТЭС России	
5,1 млн. т/год (стоимость более 1 млрд. долл. США)	0
2. Расход мазута на ТЭС Казахстана	
~1 млн. т/год (стоимость около 200 млн. долл. США)	0
3. Капвложения на ТЭС	
Мазутное хозяйство: 100%	Плазменно-топливные системы: 3-5%
4. Эксплуатационные затраты	
100%	28-30%
5. Расход электроэнергии на собственные нужды ТЭС	
На мазутное хозяйство: 3-5%	На ПТС: 0,5-1,0%

На рис. 7 и 8 представлены результаты экспериментов по снижению выбросов NOx и мехнедожога топлива при плазменном воспламенении угля в топке котла. При работе плазмоторона в режиме стабилизации пылеугольного

го факела концентрация NOx снижается вдвое, благодаря двухстадийному режиму сжигания топлива (ПТС и топка котла), с одновременным уменьшением мехнедожога топлива в 4 раза.

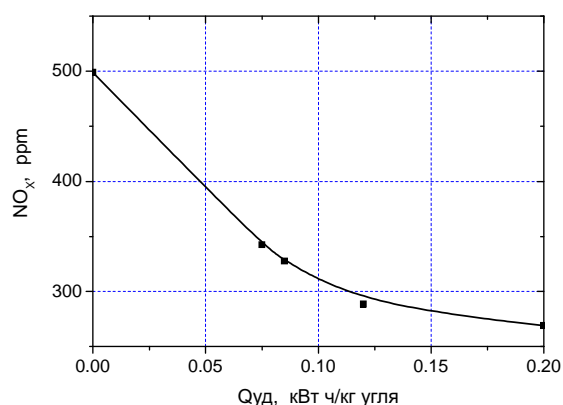


Рис. 7. Влияние удельных энергозатрат (Q_{уд}) на снижение концентрации NO_x при плазменной стабилизации стабилизации горения пылеугольного факела

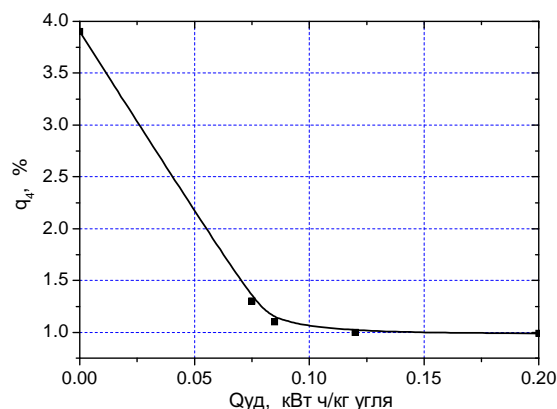


Рис. 8. Влияние удельных энергозатрат на снижение мехнедожога (q₄) при плазменной стабилизации стабилизации горения пылеугольного факела

В процессе разработки и освоения плазмохимических технологий использования топлив и минерального сырья при активной поддержке гендиректора Института проблем горения д.х.н., профессора З.А. Мансурова были подготовлены десятки докторов, кандидатов, докторов PhD и магистров наук в области теплофизики, энергетики и плазмохимии. Так, первым доктором PhD по плазмохимии в Казахстане в 2008 году стал заместитель заведующего лабораторией плазмохимии, заместитель заведующего кафедрой химической физики К.А. Умбеткалиев. Результаты научных ис-

следований Школы плазмохимии и горения получили высокую оценку Международного научного сообщества, суммарный индекс Хирша по системе цитирования Thomson Reuters составил 31, а индекс цитирования - 2475.

В заключение отметим, что в результате на стыке плазмохимии и науки о горении были разработаны, исследованы и испытаны в промышленных условиях ПТС, обеспечивающие стабильное воспламенение и повышающие эффективность сжигания твердых топлив при одновременном снижении вредных выбросов от пылеугольных ТЭС и котельных. Экономи-

ческий эффект от внедрения ПТС зависит от соотношения цен на уголь, газ, мазут, в зависимости от которых срок их окупаемости варьируется от 12 до 24 месяцев.

Благодарность

Авторы выражают искреннюю благодарность профессору З.А. Мансурову за постоянное внимание и поддержку работ в области плазмохимии и горения. Дорогой Зулхаир Аймухаметович, поздравляем с 70-летним юбилеем, желаем здоровья и дальнейших творческих успехов на благо Института проблем горения!

Литература

- 1 Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Коногоров Н.М. Плазменно-энергетические технологии использования угля для эффективного замещения мазута и природного газа в топливном балансе ТЭС. Теплоэнергетика, №10, 2004, С.53-60.
- 2 Жуков М.Ф., Мессерле В.Е., Перегудов В.С., Энгельшт В.С. Розжиг и стабилизация горения пылеугольных топлив низкотемпературной плазмой // Известия СО РАН. Серия «Энергетика». 1993. № 2. С. 27-31.
- 3 Gorokhovski M.A., Jankoski Z., Lockwood F.C., Karpenko E.I., Messerle V.E., Ustimenko A.B. Enhancement of Pulverized Coal Combustion by Plasma Technology // Combustion Science and Technology. 2007. V. 179. N 10. P. 2065-2090.
- 4 M. Gorokhovski, E.I. Karpenko, F.C. Lockwood, V.E. Messerle, B.G. Trusov and A.B. Ustimenko. Plasma Technologies for Solid Fuels: Experiment and Theory. // Journal of the Energy Institute. 2005. V. 78. N 4. P. 157-171.
- 5 Kalinenko R.A., Levitski A.A., Messerle V.E., Polak L.S. Sakipov Z.B., Ustimenko A.B. Pulverized Coal Plasma Gasification // Plasma Chemistry and Plasma Processing. Vol. 13. № 1, 1993, pp. 141-167.
- 6 Жуков М.Ф., Карпенко Е.И., Перегудов В.С., Буянтуев С.Л., Мессерле В.Е. Плазменная безмазутная растопка котлов и стабилизация горения пылеугольного факела (Низкотемпературная плазма. Т. 16.) / под ред. Проф. В.Е. Мессерле. – Новосибирск, Наука, издательская фирма РАН, 1995. – 304 с.
- 7 Мессерле В.Е., Мансуров З.А., Устименко А.Б., Мироненко А.В. Технология плазмохимической переработки твердых топлив // Материалы I-ой Всероссийской конференции «Прикладные аспекты химии высоких энергий». М: 2001. С. 107-105.
- 8 Мессерле В.Е., Мансуров З.А., Тютеебаев С.С., Лукьященко В.Г., Голыш В.И., Осадчий С.Ф. Плазменная экспериментальная установка для получения синтез-газа из энергетических углей // Материалы I Международного симпозиума «Горение и плазмохимия». – Алматы: 2001. С. 104-106
- 9 Голыш В.И., Мансуров З.А., Мессерле В.Е., Осадчий С.Ф., Тютеебаев С.С., Устименко А.Б., Карпенко Е.И., Лукьященко В.Г. Плазменные технологии и горение топлив // Материалы II Международного симпозиума «Физика и химия углеродных материалов» (18-20 сентября 2002 г.). г. Алматы, КазНУ им. аль-Фараби, С. 68-70.
- 10 Лукьященко В.Г., Мансуров З.А., Мессерле В.Е., Мироненко А.В., Умбеткалиев К.А., Устименко А.Б., Шевченко В.Н. Плавление монокристаллических шламов в плазменном реакторе с электромагнитным перемешиванием расплава // Материалы V Международного симпозиума «Горение и плазмохимия», 16-18 сентября, 2009, Алматы: КазНУ, 2009. – С. 223-226.
- 11 Лукьященко В.Г., Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Акназаров С.Х., Мансуров З.А., Умбеткалиев К.А., Сейсенова А.Б. Термодинамические расчеты переработки минерального сырья при его электроплавке в трехфазном электромагнитном реакторе (ЭМР) // Материалы VII Международного симпозиума "Горение и плазмохимия". – Алматы: Казак университеті, 2013. – С. 216-221.
- 12 Лукьященко В.Г., Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Акназаров С.Х., Мансуров З.А., Умбеткалиев К.А., Шевченко В.Н. Трехфазный универсальный электромагнитный технологический реактор для переработки минеральных веществ // Горение и плазмохимия, 2013, том 11, № 4, С. 71 – 78.
- 13 Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Лукьященко В.Г., Аханова Н.Е. Регенерируемые наноуглеродные электроды электродугового генератора плазмы // «Белая

книга по нанотехнологиям» / под ред. З.А. Мансурова, М.Т. Габдуллина. Изд. "Alliance Print", Алматы, 2014. – Р. 192 – 198.

14 Лукьященко В.Г., Мессерле В.Е., Мансуров З.А., Устименко А.Б., Акназаров С.Х., Умбеткалиев К.А., Шевченко В.Н., Головченко О.Ю. Базальтовое волокно и базальты Республики Казахстан // Материалы VIII Международного симпозиума «Горение и плазмохимия» и Международной научно-технической конференции «Энергоэффективность-2015». 6-18 сентября 2015 г., Алматы, Казахстан. – КазНУ 2015. – С.368-371.

15 Янтайская электромеханическая компания "Лунюань" Лтд. Плазменная Технология Зажигания и Поддержания Горения на Пылеугольных Котлах // Электрические станции. 2008. № 2.

16 Gao H., Chui E., Runstedtler A., Tang H. Numerical Investigation of Plasma Ignition Process in a Utility Boiler // 6th International Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), 13-15 September 2010, Heilbron, Germany, P. 69-70.

17 Messerle V.E., Karpenko E.I., Ustimenko A.B. Plasma Assisted Power Coal Combustion in the Furnace of Utility Boiler: Numerical Modelling and Full-Scale Test // Fuel, 2014. - Vol. 126. - P. 294-300.

18 Карпенко Е.И., Карпенко Ю.Е., Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Использование плазменно-топливных систем на пылеугольных ТЭС Евразии // Теплоэнергетика, 2009. – N 6. – С. 10-14.

PLASMOCHEMISTRY AND COMBUSTION PROCESSES

V.E. Messerle, A.B. Ustimenko, K.A. Umbetkaliev

Institute of combustion problems, Kazakhstan, 050012, Almaty, Bogenbai Batyr str., 172

LLP «Plasmotexnica», 050010, Almaty, Kazakhstan, Zverev str. 22,

e-mail: ust@physics.kz

Abstract

This article provides a brief overview of the development of plasma technology for solid fuel ignition by pulverized TPS of Russia, Kazakhstan, China and other countries of Eurasia. Layout scheme and presented technical and economic characteristics of plasma-fuel systems installed on different pulverized coal boilers, as well as some of the results of the use of plasma-fuel systems at coal-fired thermal power plants.

Keywords: Plasma technology, solid fuels, thermal power stations, ignite, natural gas

ПЛАЗМАХИМИЯ ЖӘНЕ ЖАНУ ПРОЦЕСТЕРІ

В.Е.Мессерле, А.Б.Устименко, К.А.Умбеткалиев

Институт жану проблемалары, 050012, Қазақстан, Алматы, Богенбай Батыр к., 172

ТОО «НТО Плазмотехника», 050010, Алматы, Қазақстан, Зверев к., 22

e-mail: ust@physics.kz

Аннотация

Осы мақалада Ресей, Қазақстан, Қытай және басқа еуразиялық елдердің көмірмен жұмыс істейтін электр станцияларындағы қатты отынды тұтатуға арналған плазмалық технологияның дамуын қысқаша шолу. Пультмирленген көмір қазандықтарында орнатылған плазма-отын жүйелерінің орналасу сұлбалары мен техникалық-экономикалық сипаттамалары, сондай-ақ көмірмен жұмыс істейтін электр станцияларында плазмалық отын жүйелерін қолданудың кейбір нәтижелері.

Түйінді сөздер: плазмалық технологиясы, қатты отын, жылу электр станциялары, воспламенение, табиғи газ