

ПЛАЗМЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

В.Е.Мессерле, З.А.Мансуров, А.Б.Устименко* *Институт Проблем Горения,
Казахстан, Алматы, ул.Богенбай Батыра, 172, * ust@ntsc.kz*
Е.И.Карпенко *Отраслевой Центр Плазменно-Энергетических Технологий РАО
«ЕЭС России», Россия, Гусиноозерск, ул. Пушкина, 33*

Уголь является одним из основных энергоносителей 21-го века. Сегодня во всем мире на угольных электростанциях производится более 50% электрической и тепловой энергии. При этом доля угля в топливном балансе тепловых электростанций (ТЭС) увеличивается. В тоже время качество энергетических углей повсеместно снижается. Это ведет к трудностям его воспламенения и сжигания при одновременном увеличении вредного воздействия на окружающую среду. Для решения этой проблемы необходимо разрабатывать новые технологии сжигания и газификации низкосортных углей. Для повышения эффективности сжигания угля и снижения вредных выбросов созданы новые плазменно-топливные системы (ПТС). Они представляют собой пылеугольные горелки, оборудованные электродуговыми плазмотронами, и комбинированные плазменные газификаторы для ТЭС. ПТС обеспечивают безмазутную растопку пылеугольных котлов, стабилизацию пылеугольного факела и одновременно снижают мехнедожог топлива и образование оксидов азота.

Технология ПТС основана на плазменной термохимической подготовке угля к сжиганию [1-3]. Она заключается в нагреве аэросмеси (угольная пыль + воздух) электродуговой плазмой до температуры выхода летучих угля и частичной газификации коксового остатка (рис.1). Тем самым из исходного низкосортного угля получается высокорреакционное 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. Плазменно-топливные системы испытаны на 26 котлах паропроизводительностью от 75 до 670 т/ч (Таблица 1), оснащенных различными типами пылеугольных горелок (прямоточные, муфельные и вихревые) (Таблица 2). 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 48% и теплотой сгорания от 2800 до 6000 ккал/кг (Таблица 3) [3].

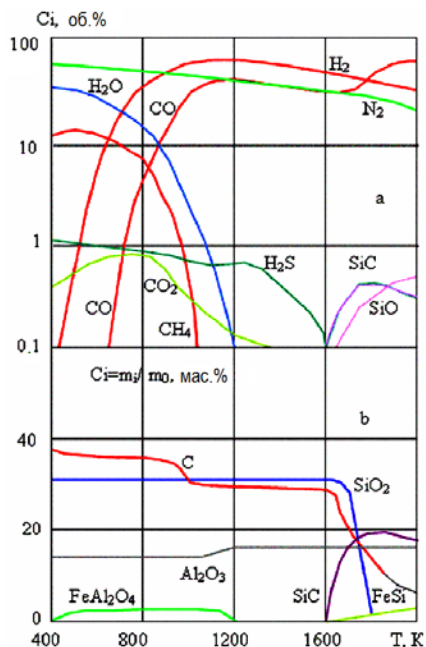


Рис. 1. Состав газовой (а) и конденсированной (б) фаз двухкомпонентного высокорекреакционного топлива.

m_i – масса i -го компонента,
 m_0 – масса аэросмеси.

Таблица 1. Промышленные испытания плазменно-топливных систем (ПТС) на ТЭС

№ п/п	ТЭС (месторасположение)	Тип и количество котлов с ПТС	Паропроизводительность одного котла, т/ч	Количество ПТС, установленных на ТЭС, шт.
1. Российская Федерация				
1.	Гусиноозерская ГРЭС (г. Гусиноозерск)	ТПЕ-215 – 2котла	670	8
		БКЗ-640 – 2 котла	640	7
2.	Черепетская ГРЭС (г. Суворов)	ТП-240 – 1 котел	240	4
3.	Нерюнгринская ГРЭС (г. Нерюнгри)	КВТК-100–1котел	Тепловая мощность 116 МВт	2
4.	Партизанская ГРЭС (г. Партизанск)	ТП-170 – 1 котел	170	2
5.	Улан-Удэнская ТЭЦ-2 (г. Улан-Удэ)	ТПЕ-185 –1 котел	160	2
6.	Хабаровская ТЭЦ-3 (г. Хабаровск)	ТПЕ-216 –1 котел	670	4
2. Украина				
7.	Кураховская ТЭС (г. Курахово)	ТП-109 – 1 котел	670	4
3. Казахстан				
8.	Алматинская ГРЭС (г. Алма-Ата)	БКЗ-160 – 1 котел	160	2
9.	Усть-Каменогорская ТЭЦ (г. Усть-Каменогорск)	ЦКТИ-75–2котла	75	4

4. Монголия				
10.	Улан-Баторская ТЭЦ-4 (г. Улан-Батор)	БКЗ-420– 8котлов	420	16
11.	Эрдэнэтская ТЭЦ (г. Эрдэнэт)	БКЗ-75 – 1 котел	75	1
5. Китай				
12.	Баодийская ТЭС (г. Баоди)	Ч-200 – 1 котел	200	3
13.	Шаогуанская ТЭС (г. Шаогуан)	F-220/100-W–1котел	230	4
6. Северная Корея				
14.	Восточно-Пхеньянская ТЭС (г. Пхеньян)	Е-210 – 1 котел	210	3
7. Словакия				
15.	ТЭС «Вояны» (г. Велки-Капушаны)	TAVICI – 1 котел	350	2

Таблица 2. Основные показатели Плазменно-Угольных горелок для плазменного воспламенения низкосортных углей.

	ТЭС			
	ОЦ ПЭТ, Россия	Черепетская, Россия	Шаогуан, Китай	Вояны, Словакия
Мощность плазмотрона, кВт	320	150	320	260
Тип горелки	вихревая	прямоточная	Вихревая с воздушным охлаждением	вихревая муфельная
Расход первичного воздуха, м ³ /ч	1800	2500	2100	3500
Максимальный расход угля, т/ч	3	3	4	4.7
Теплота сгорания угля, МДж/кг	25	23	19.3	25.5
Выход летучих, %	4	15	8.2	7.5
Зольность, %	19	27	30.5	18.7
Тонина помола, % (R ₉₀)	48	15-20	10	8
Температура факела, °С	1200	1150	1170	1400
Длина факела, м	2.5	6	4	4

Например, рис. 2 иллюстрирует схему размещения двух ПТС на водогрейном котле (рис.2) тепловой мощностью 116 МВт Нерюнгринской ГРЭС (а) (вид сверху) и конфигурацию ПТС с вихревой пылеугольной горелкой (б). Рис. 3 демонстрирует схему размещения четырех ПТС на котле БКЗ-640 Гусиноозерской ГРЭС оснащенный прямоточными пылеугольными горелками.

На рис.4 показаны результаты экспериментов по снижению выбросов NO_x и мехнедожога при плазменном воспламенении углей. Из рисунка видно, что при

работающих ПТС (в режиме плазменной стабилизации горения факела) выбросы NO_x снижаются в два раза, а мехнедожог топлива в 4 раза. Один из источников увеличения реакционной способности топлива, обеспечивающей снижение мехнедожога заключается во взрыве частиц при их взаимодействии с электродуговой плазмой. На рис. 5 показана экспериментальная зависимость относительной электрической мощности плазмотрона от выхода летучих углей на различных ТЭС.

Таблица 3. Характеристики углей

Тип угля	W^w	A^d	V^d	Q^w_1 (kcal/kg)
Бурый	25-35	15-20	35-50	3000-3800
Сланец	40-50	75-80	48-50	1600-2000
Каменный	5-12	20-45	15-40	4000-5000
Антрацит	5-8	25-35	4-10	4300-6200
Смесь углей	10.4	48.5	38.2	3150

W^w - содержание влаги на рабочую массу; A^d - зольность на сухую массу угля;
 V^d - выход летучих на сухую массу; Q^w_1 - низшая теплота сгорания на рабочую массу.

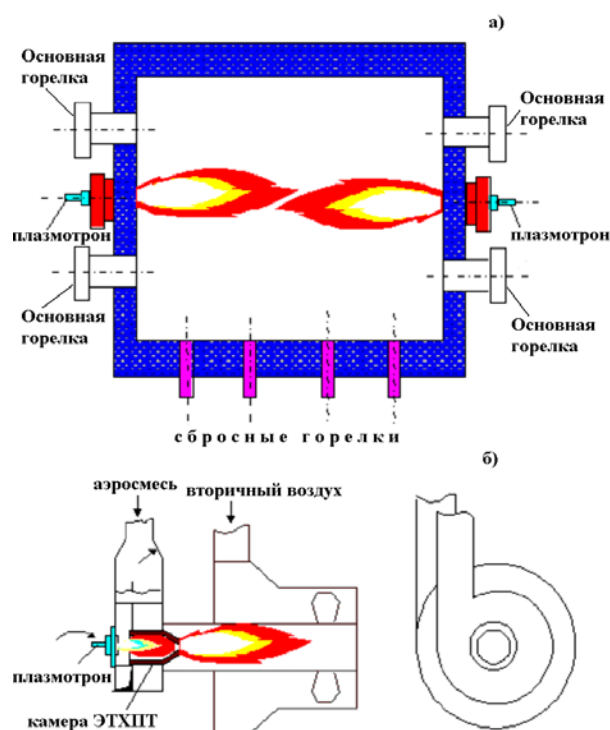


Рис. 2. Схема установки ПТС на котле КВТК-100/150 тепловой мощностью 116 МВт.

Вторым этапом развития ПТС является их использование для газификации углей и получения из низкосортных топлив высококалорийного и экологически чистого синтез-газа ($\text{CO}+\text{H}_2$) для сжигания на ТЭС. С этой целью проведены экспериментальные исследования комбинированной плазменной газификации на опытных установках с расходом угля до 10 кг/ч (рис.6) (плазменный стенд Института

Проблем Горения, Алматы), 0,2 т/ч (огневой стенд Отраслевого Центра Плазменно-Энергетических Технологий РАО «ЕЭС России», г.Гусиноозерск) и с расходом от 3 до 8 т/ч на котле БКЗ-640 паропроизводительностью 640 т/ч Гусиноозерской ГРЭС.

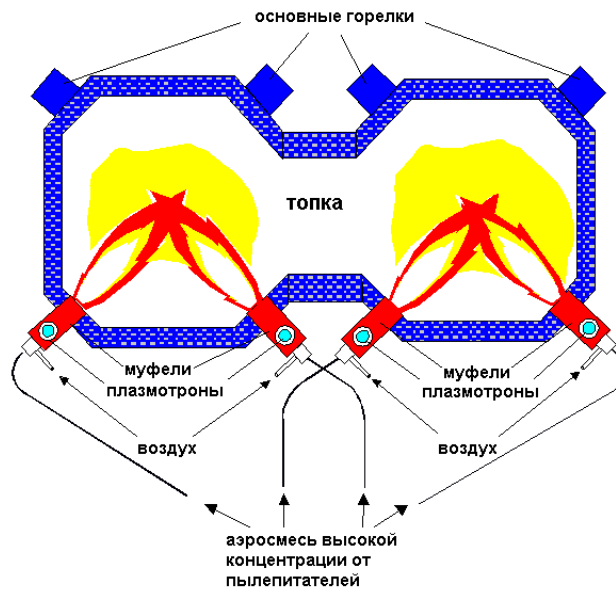


Рис. 3. Схема размещения ПТС на котле БКЗ-640 Гусиноозерской ГРЭС.

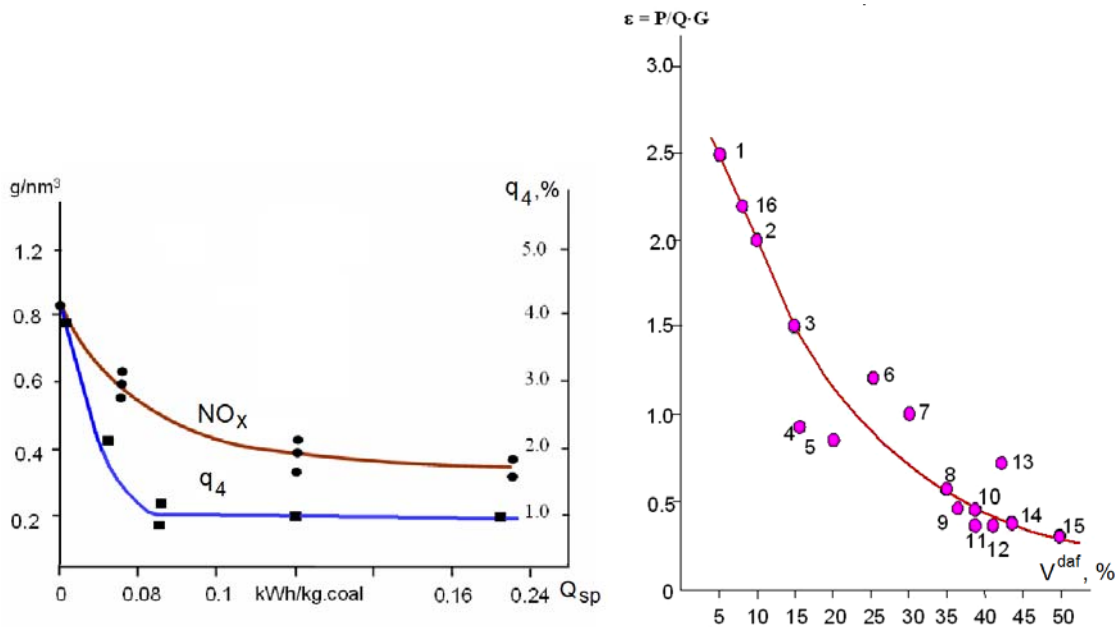


Рис.4. Влияние на образование NO_x и мехнедожога топлива (q_4) удельных энергозатрат (Q_{sp}) при плазменном сжигании аэросмеси

Рис.5. Зависимость относительной электрической мощности ПТС от выхода летучих воспламеняемого угля.
 1 –Северная Корея; 2,12 – Украина; 3 – Китай;
 4,5,8,10,11,15 – Россия; 6 – Казахстан; 7 – США;
 13 – Монголия; 14 – Киргизия; 15 – Эстония; 16 – Словакия.
 P – электрическая мощность плазмотрона; Q – калорийность угля; G – расход угля через ПТС.

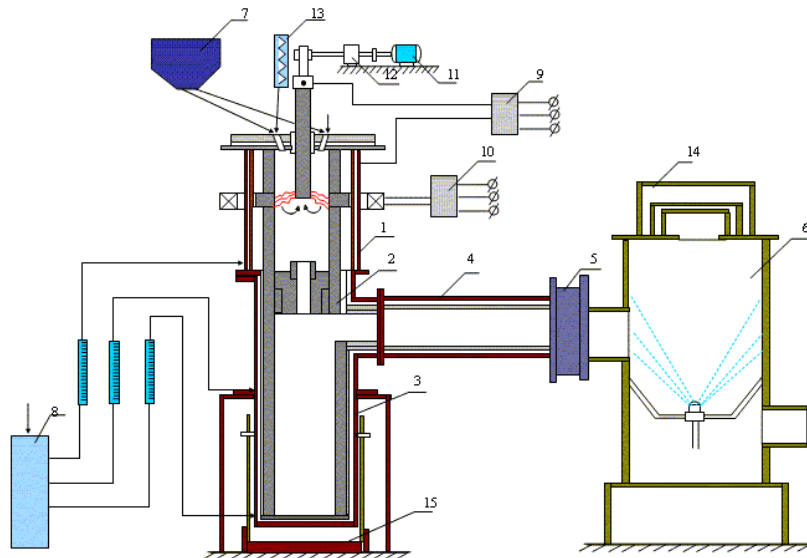


Рис.6. Схема экспериментальной плазменной установки для газификации углей.

1 – плазменный газификатор; 2 – камера разделения газа и шлака; 3 – шлакоосборник; 4 – камера вывода синтез-газа; 5 – мерная шайба; 6 – камера гидротации; 7 – пылепитатель; 8 – система охлаждения; 9, 10 – система электропитания; 11, 12 – устройство подачи электрода; 13 – парогенератор; 14 – предохранительный клапан; 15 – подъемник шлакоосборника.

Результаты испытаний плазменной газификации Холбольджинского бурого угля зольностью 29,4% и теплотой сгорания 3000 ккал/кг на котле показали, что при расходах угля 5 т/ч и воздуха 3,3 т/ч температура в плазменном комбинированном газификаторе составляла 1200-1300 К. При этом степень газификации угля достигала 60-70%, что вполне достаточно для интенсивного воспламенения в топке котла продуктов электротермохимической подготовки угля к сжиганию и безмазутной стабилизации горения пылеугольного факела. При степени газификации $X_C=60\%$ измеренный состав газовой фазы на выходе комбинированного плазменного газификатора (рис.7) был следующим (объемные %): $CO=17.4$, $H_2=8.7$, $CH_4 = 1.5$, $CO_2 = 4.7$, $N_2 = 67.5$, $NO_x=40-60$ мг/нм³ $SO_x = 100-150$ мг/нм³ [4].

Комбинированный плазменный газификатор производительностью по углю 32 т/ч предназначен для плазменной газификации и термохимической подготовке к сжиганию энергетических углей с последующей подачей полученных высокорекреационных продуктов, горючего газа и коксового остатка, непосредственно в топку котла. Это позволяет обеспечить безмазутную растопку котла, подсветку пылеугольного факела, стабилизацию выхода жидкого шлака, снизить выбросы оксидов азота, а также расширить гамму сортов сжигаемых в одном и том же котле углей без снижения его технико-экономических и экологических показателей.

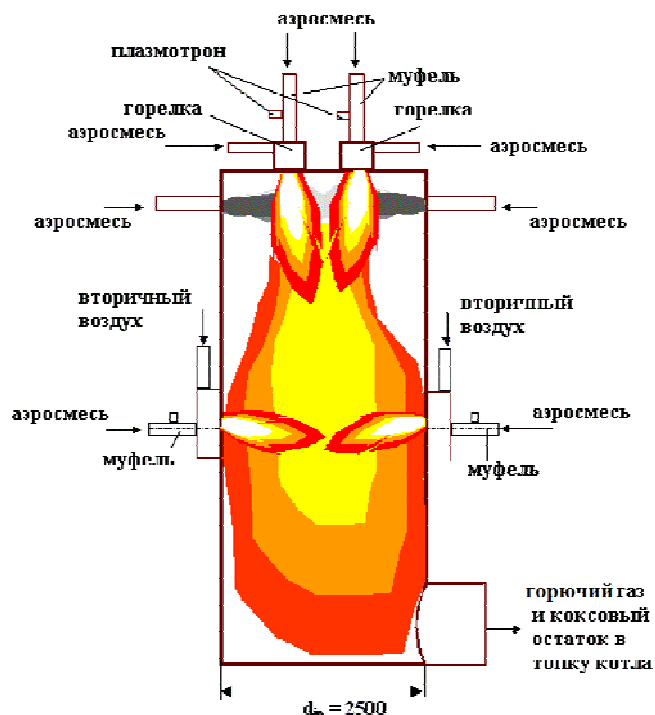


Рис.7. Схема комбинированного газификатора с двумя плазменными ступенями для котла БК3-640 Гусинозерской ГРЭС.

Использование плазменно-топливных систем на тепловых электростанциях снижает мехнедожог на 40-50%, образование оксидов азота - на 50-60%, при этом выход диоксида углерода может быть снижен на 1-2%. Полученные результаты позволяют сформулировать основные принципы разработки плазменно-топливных систем для их промышленного использования на пылеугольных ТЭС.

1. V.E.Messerle, A.B.Ustimenko, E.I.Karpenko. Plasma-energy Technologies for Improvement and Economy Indexes of Pulverized Coal Incineration and gasification.– The Proceedings of the 28-th International Technical Conference on Coal Utilization and Fuel systems. // Clearwater, Florida, USA. –Published by U.S. Department of Energy & Coal Technology Association of USA. – 2003.-P. 255-266.
2. E.I.Karpenko, V.E.Messerle, A.B.Ustimenko. Plasma-Fuel Systems for Enhancement Coal Gasification and Combustion // Presentations Abstracts of 30th International Symposium on Combustion //University of Illinois at Chicago, July 25-30, 2004. – 115-19; – P. 110
3. E. Karpenko, V. Messerle, A. Ustimenko Plasma-fuel systems for environment and economy indexes of pulverized Coal incineration and gasification Improvement // Proceedings of Seventh International Conference on Energy for a Clean Environment // Lisbon, Portugal, 2003. – CD of Proceedings – № 32.09; Book of Abstracts – p. 171
4. Messerle V., Karpenko E., Lockwood F., Ustimenko A. Plasma-Energy Technologies of Solid Fuel Use on Thermal Power Plants. // Proceeding of the Sixth International Conference on Technologies and Combustion for a Clean Environment “Clean Air”. / V. III. – Porto. – Portugal, 2001. – P. 1465-1468.