



# ПЛАЗМЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

*Мессерле В.Е., З.А.Мансуров, А.Б.Устименко*  
*Институт Проблем Горения, Казахстан, Алматы,*  
*[ust@ntsc.kz](mailto:ust@ntsc.kz)*

*Е.И.Карпенко Отраслевой Центр Плазменно-Энергетических  
Технологий РАО «ЕЭС России», Россия*

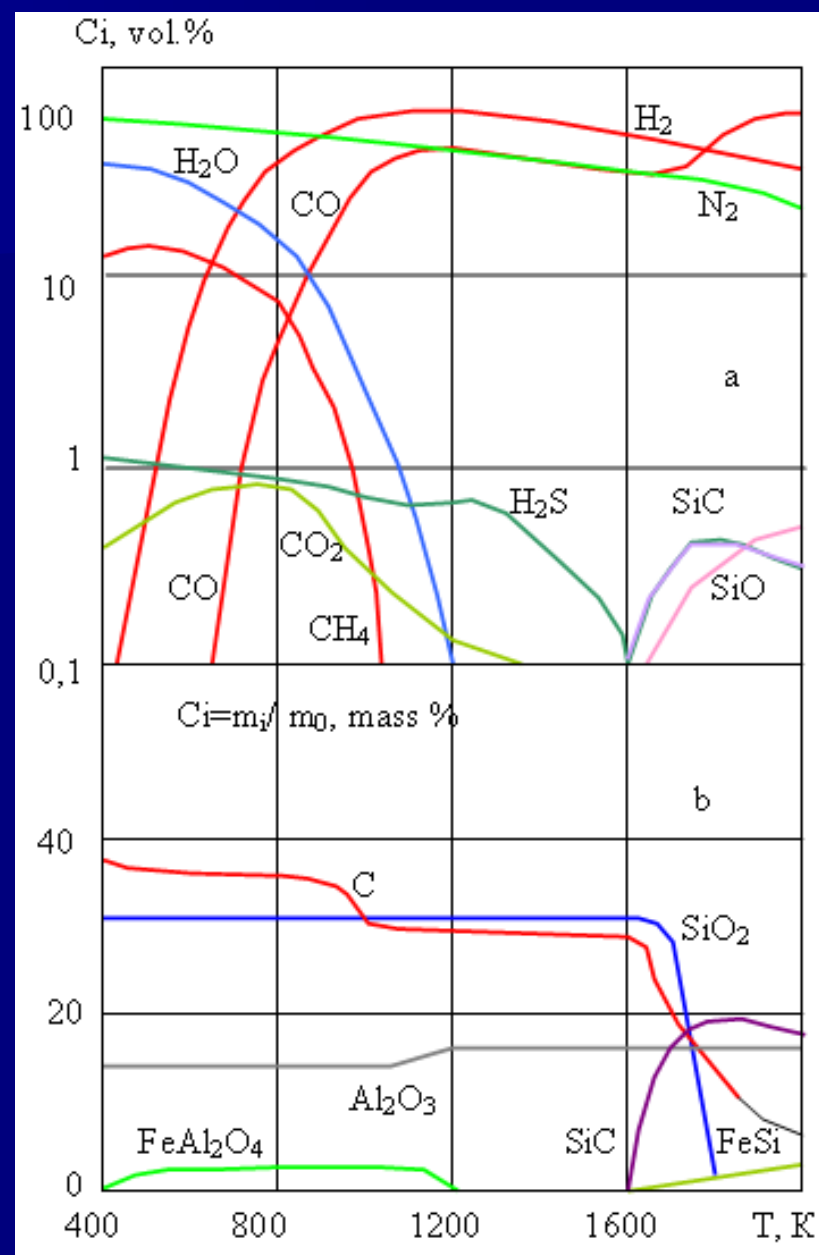
## ПЛАЗМЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ:

- ПЛАЗМЕННАЯ РАСТОПКА ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ
- ПЛАЗМЕННАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ГОРЕНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВ И ИХ СМЕСЕЙ
- ПЛАЗМЕННАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ВЫХОДА ЖИДКОГО ШЛАКА В ТОПКАХ С ЖИДКИМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ
- ПЛАЗМЕННАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ И ИХ СМЕСЕЙ
- КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ
- УТИЛИЗАЦИЯ ОСТАТКОВ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И ДРУГИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ



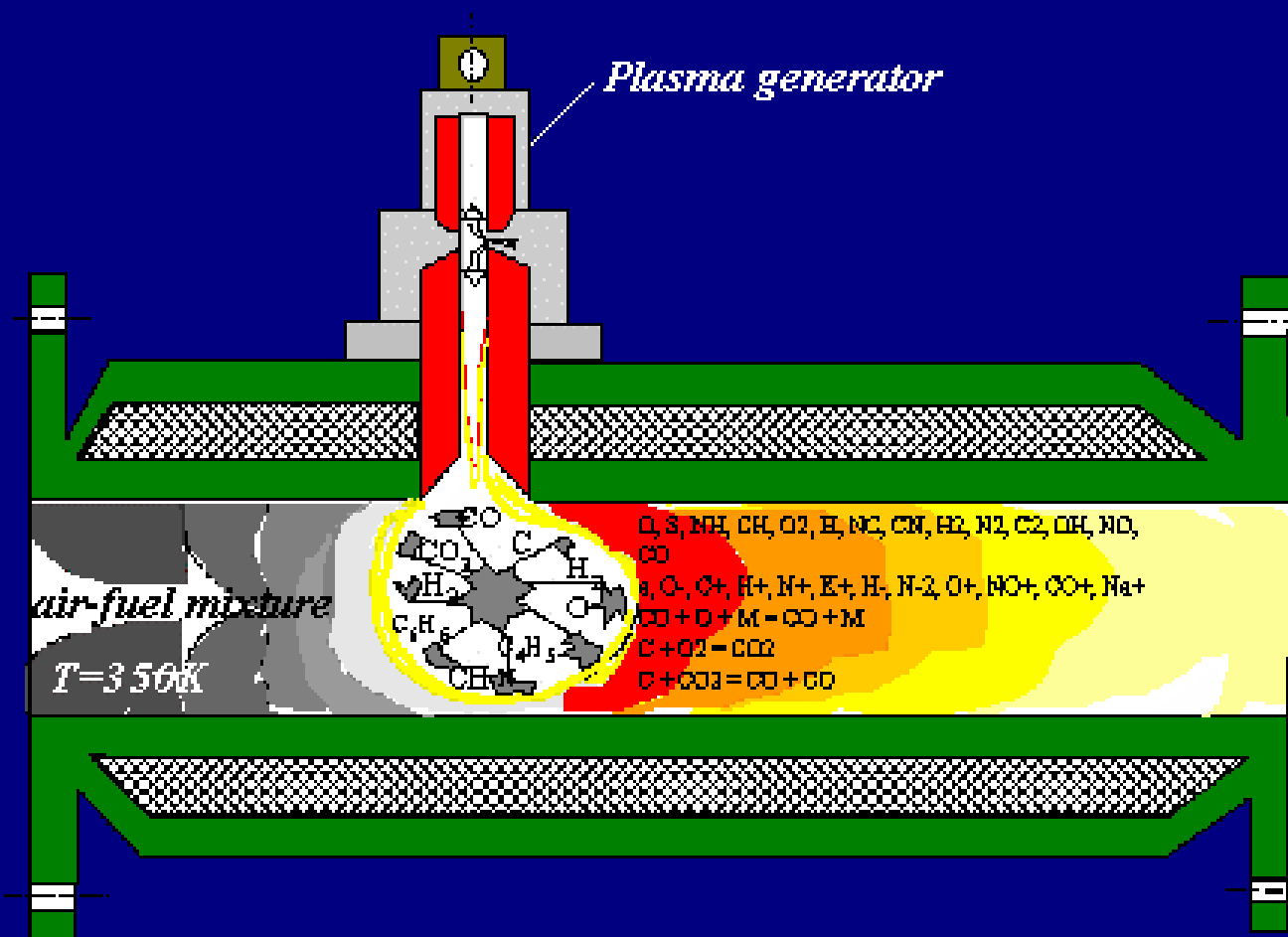
**Состав газовой (а) и конденсированной (b) фаз двухкомпонентного высокорреакционного топлива.  $m_i$  – масса  $i$ -го компонента,  $m_0$  – масса аэросмеси.**

**Концентрация горючих компонентов ( $\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4$ ) увеличивается с температурой, достигая 50-70% от газовой фазы ( $T=900-1200\text{K}$ ). Этого достаточно для их интенсивного воспламенения и стабилизации горения основной аэросмеси. Концентрации окислителей – водяного пара и диоксида углерода ( $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ) – с температурой снижаются до 0,1%.**



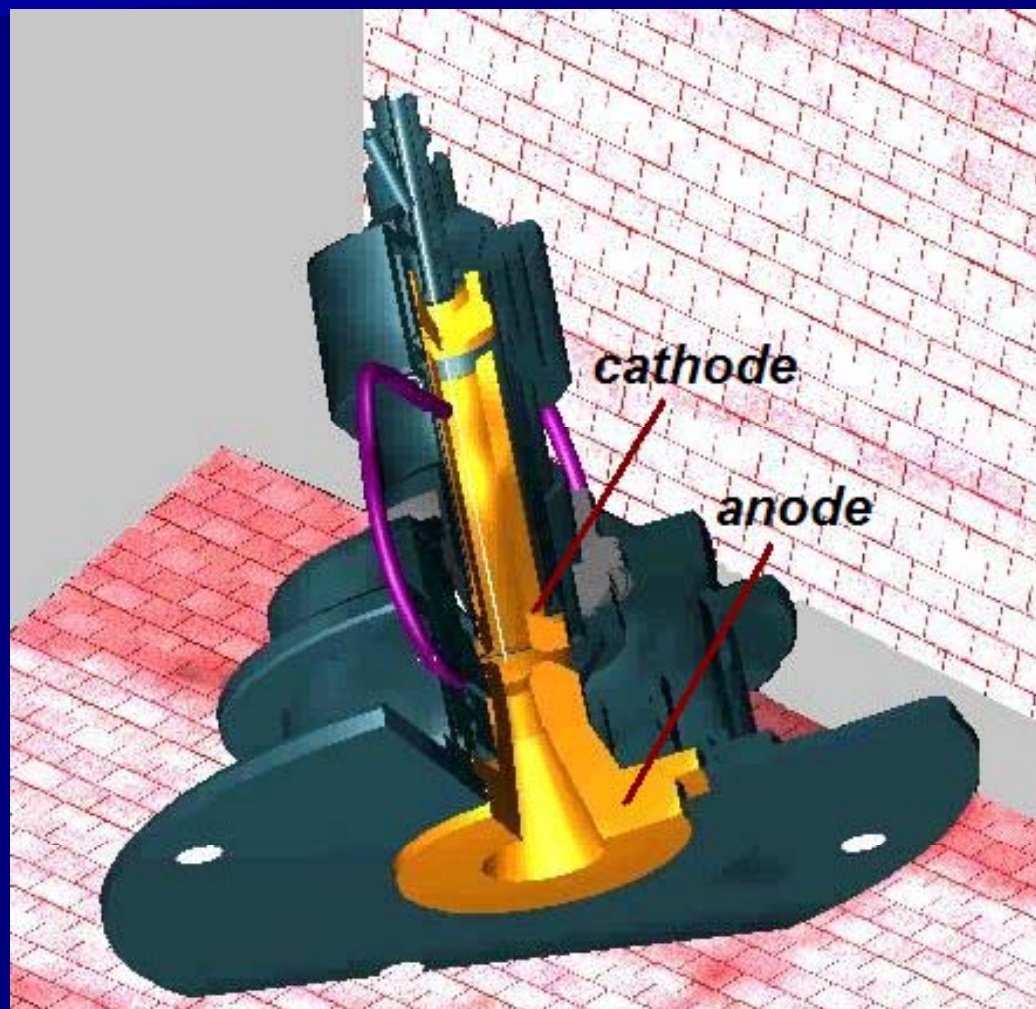


# Особенности взаимодействия электродуговой плазмы с аэросмесью в системе плазменного воспламенения углей (муфельная горелка с плазмотроном).





***Электродуговой плазмотрон – основной элемент осуществления плазменно-энергетических технологий.***



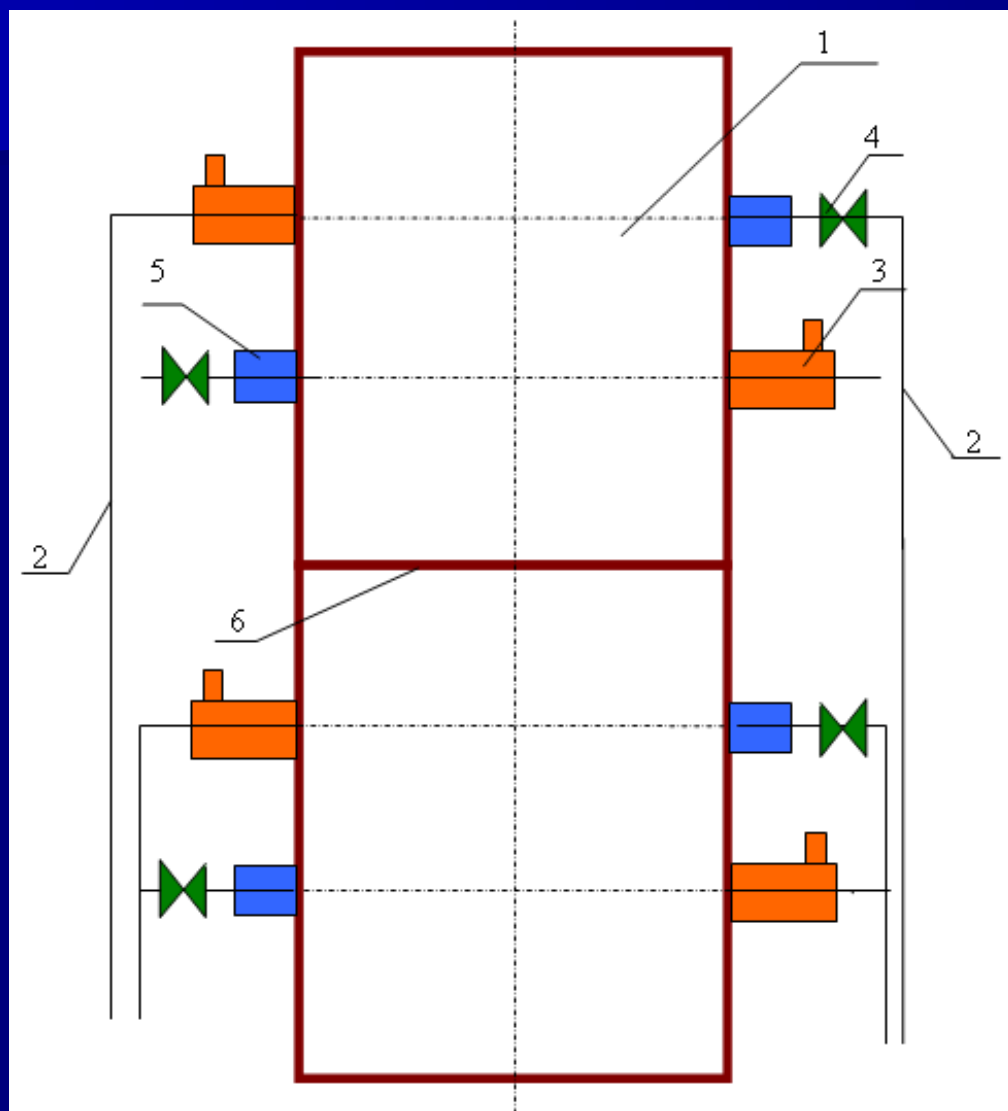


## Теплотехнические характеристики углей.

Тип угля	$W^p$	$A^c$	$V^{daf}$	$Q_H^p$ (ккал/кг)
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

( $W^p$  = влажность на рабочую массу угля;  $A^c$  = зольность на сухую массу;  $V^{daf}$  = выход летучих на горючую массу;  $Q_H^p$  = низшая теплота сгорания на рабочую массу угля)

**Плазменные технологии испытаны для всех типов твердых топлив, от сланцев до антрацитов, включая смесь лигнита с высокозольным антрацитом. Содержание летучих изменялось от 4 до 50%, золы – 15-80 %, теплоты сгорания – от 1600 до 6200 ккал/кг.**

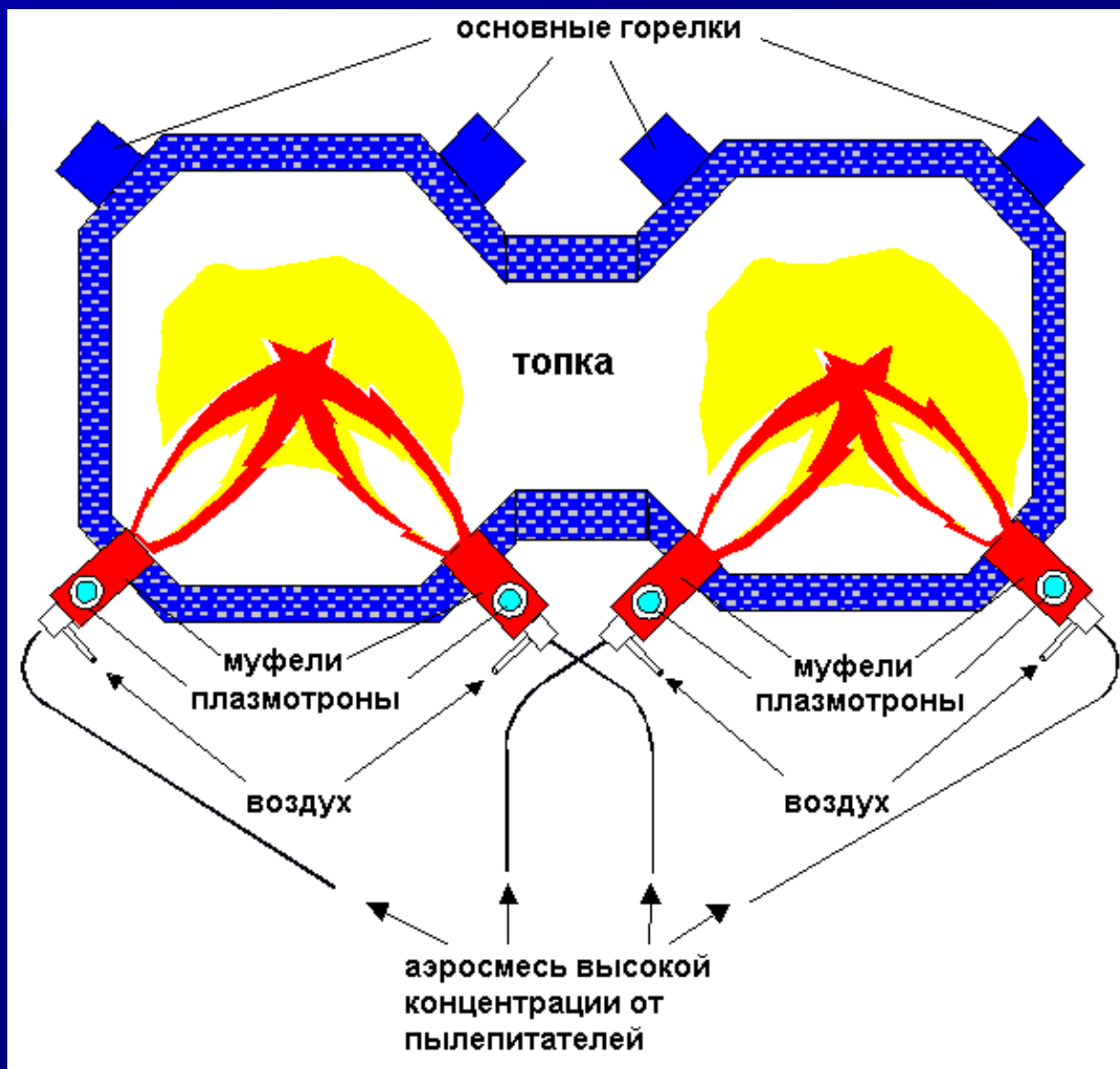


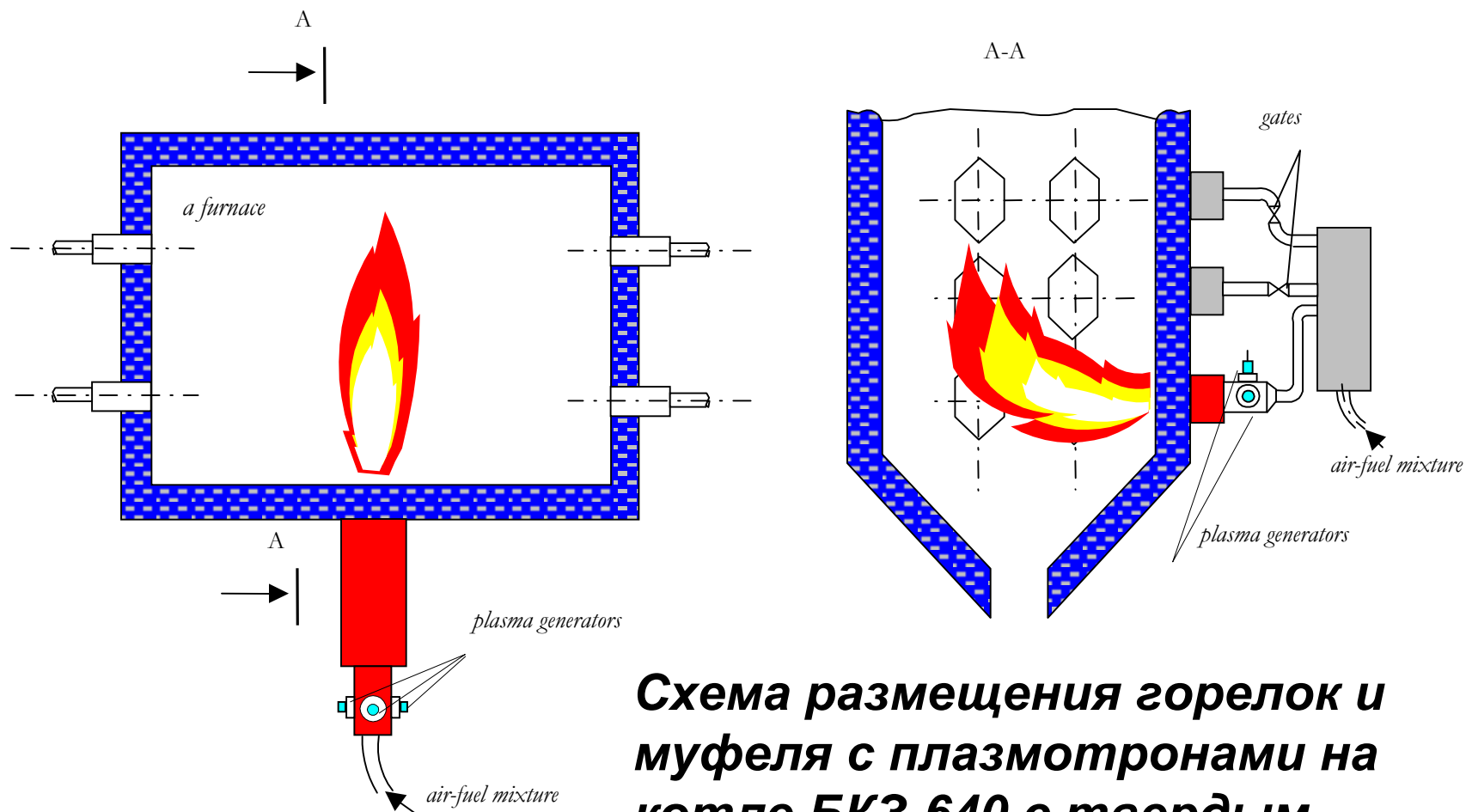
**Схема размещения  
горелок котла ТПЕ-215  
на ГО ГРЭС (вид  
сверху)**

- 1 – топка;**
- 2 – пылепровод;**
- 3 – муфельная горелка  
с плазмотроном;**
- 4 – клапан;**
- 5 – основная горелка;**
- 6 – двусветный  
экран.**



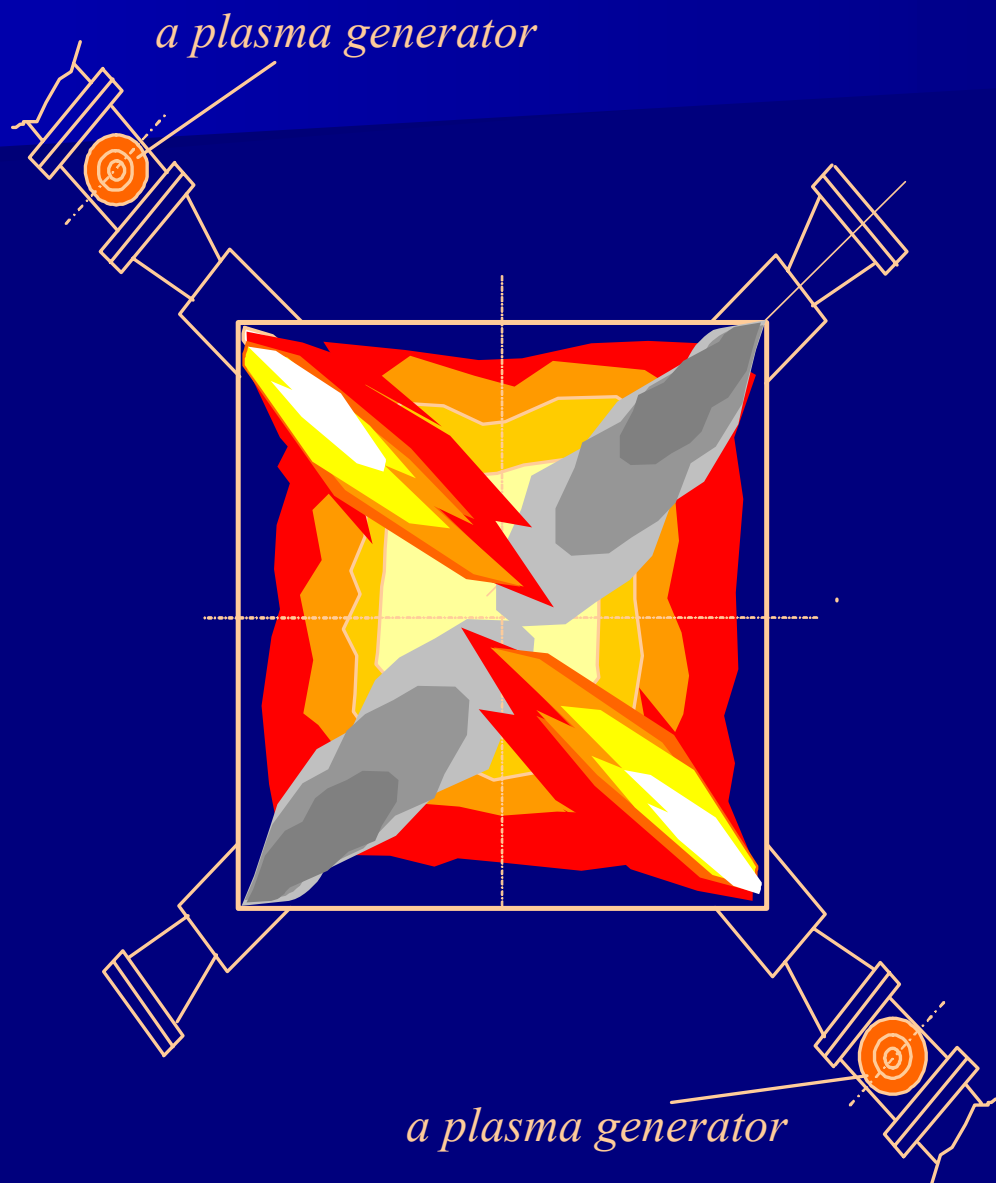
# Схема размещения муфт с плазмотронами на котле БКЗ-640 с жидким шлако-удалением на ГО ГРЭС



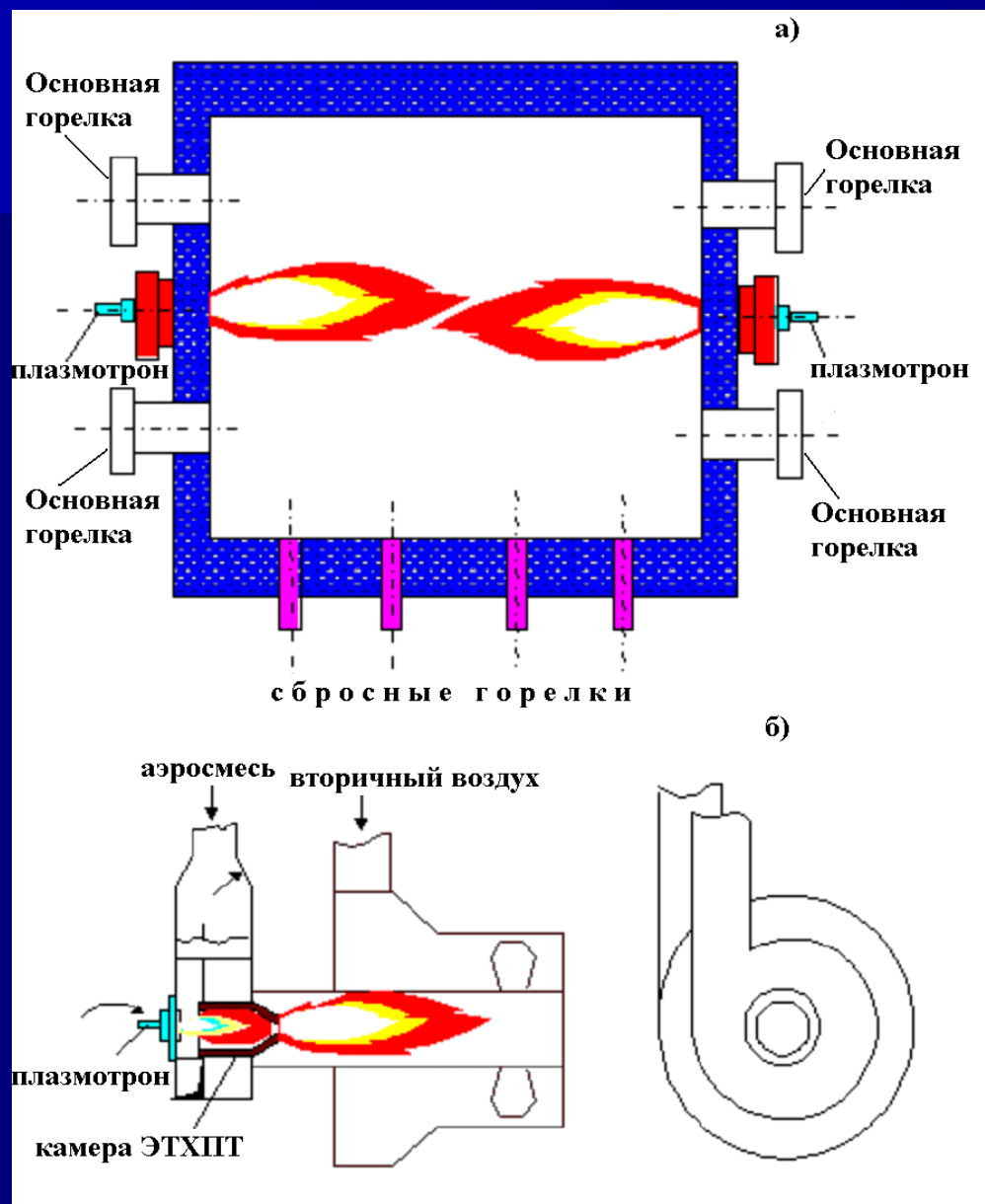


**Схема размещения горелок и муфеля с плазмотронами на котле БКЗ-640 с твердым шлакоудалением на ГО ГРЭС**





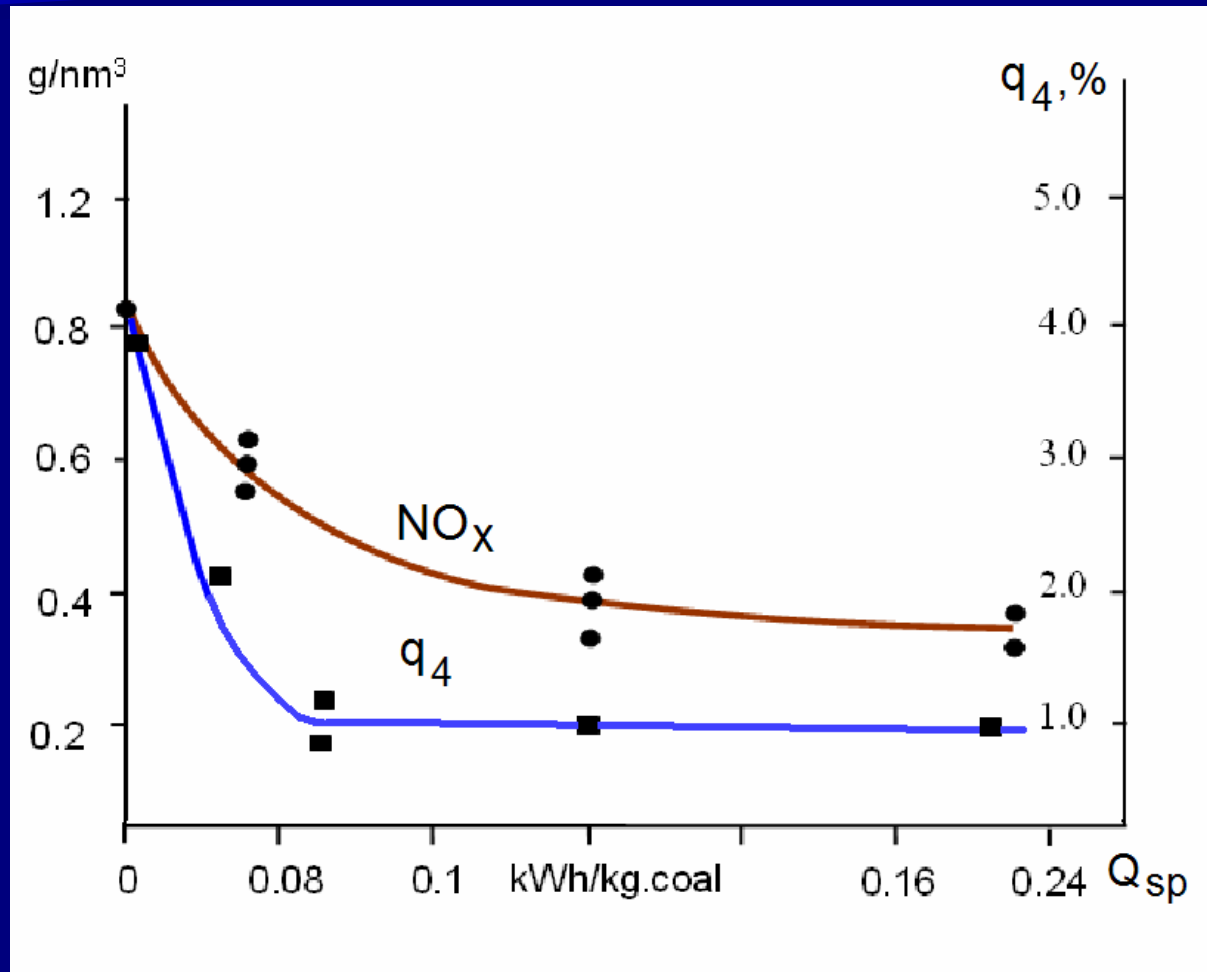
**Схема размещения  
горелок котла  
БКЗ-420  
паропроизводитель-  
ностью 420 т/ч с  
системами  
плазменного  
воспламенения  
аэросмеси на Улан-  
Баторской ТЭЦ-4 .**



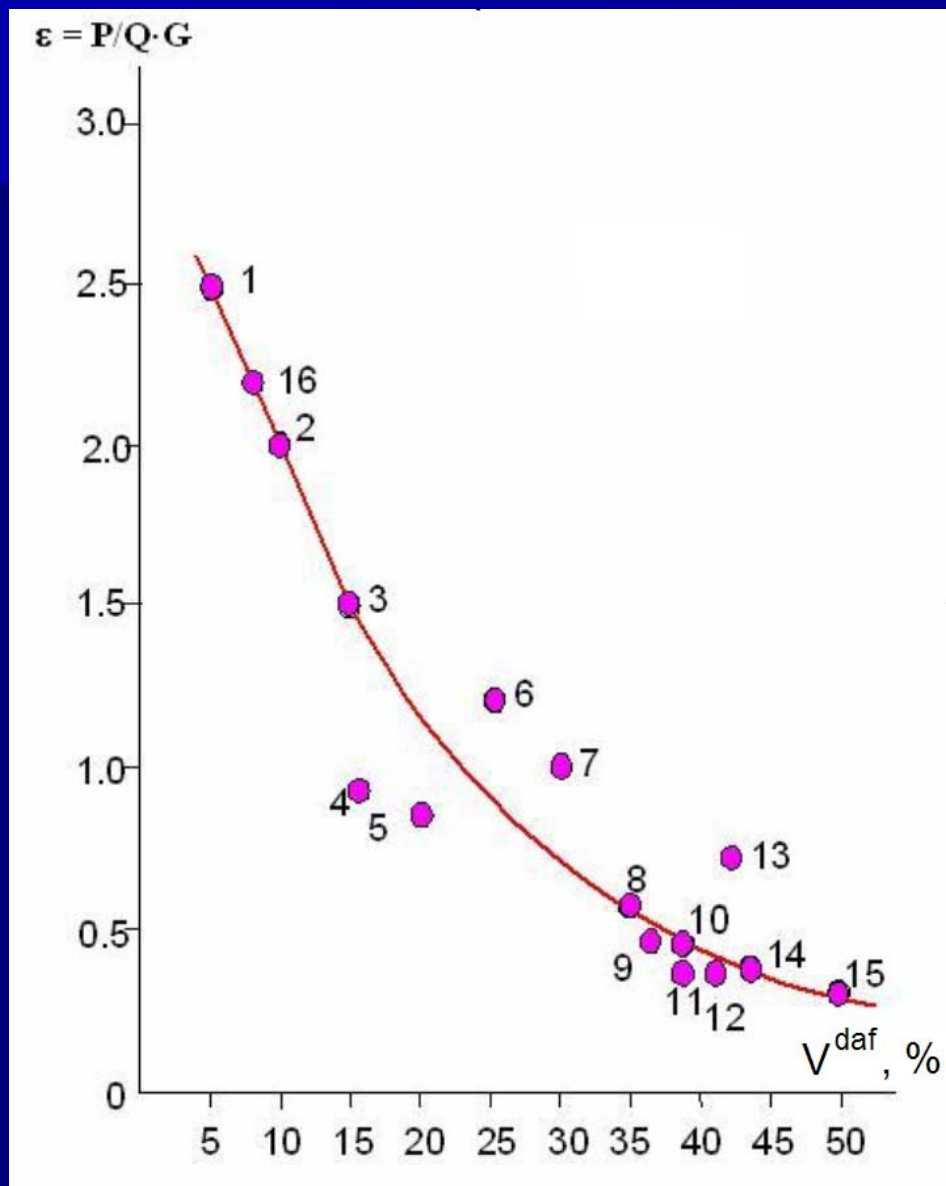
**Схемы оснащения  
горелок котла  
КВТК-100  
плазмотронами (а) и  
реконструированной  
горелки (б)  
(Нерюнгринская  
ГРЭС)**



**Влияние удельных энергозатрат ( $Q_{sp}$ ) на образование  $NO_x$  и мехнедожог топлива ( $q_4$ ) при плазменном воспламенении пылеугольного факела**



● –  $NO_x$     ■ –  $q_4$



**Опытная зависимость относительной электрической мощности плазмоторна от выхода летучих воспламеняемого угля на различных ТЭС.**

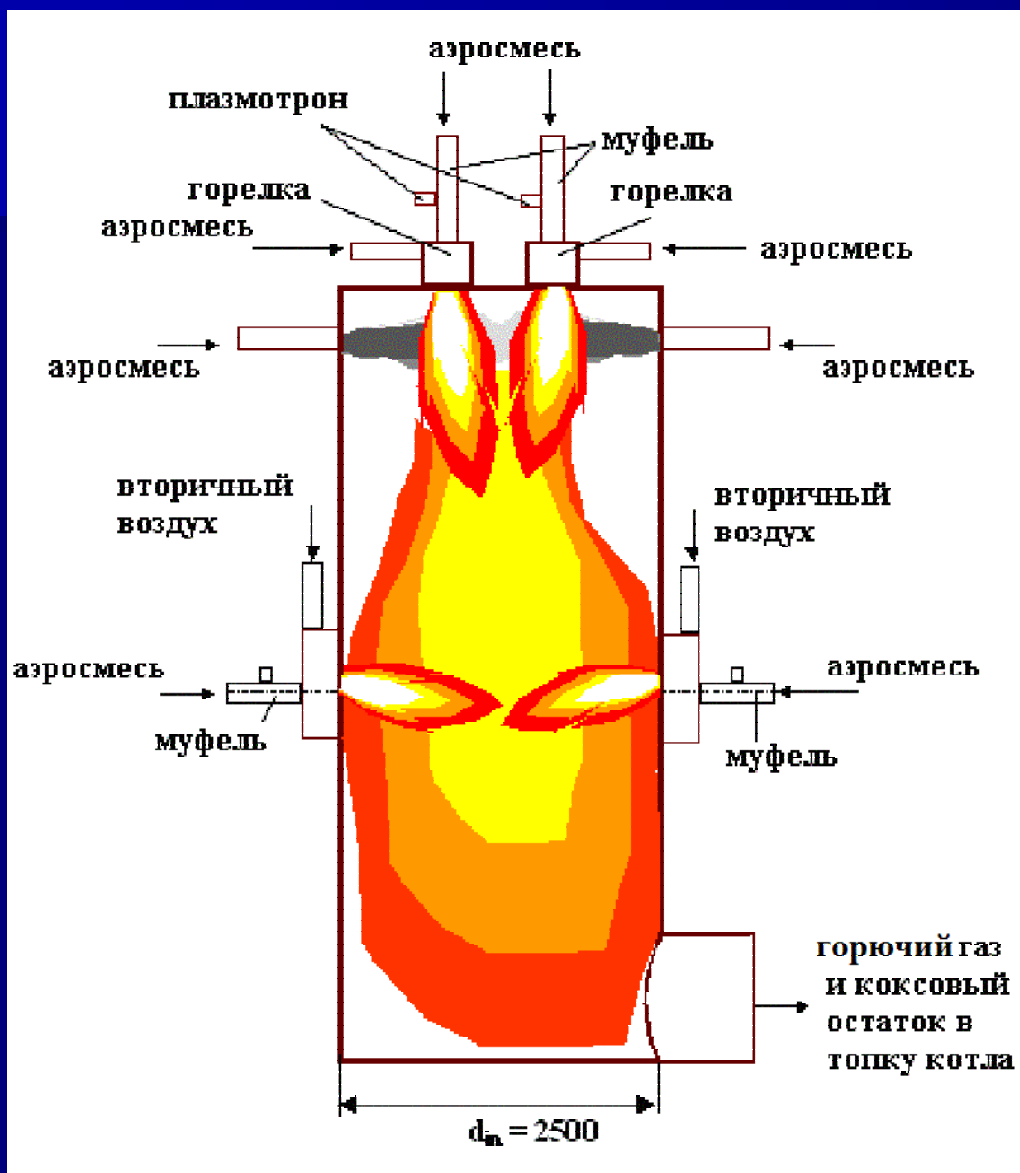
**1 – Северная Корея; 2, 12 – Украина; 3 – Китай; 4, 5, 8, 10, 11 – Россия; 6 – Казахстан; 7 – США; 13 – Монголия; 14 – Киргизия; 15 – Эстония; 16 – Словакия.**

**$P$  – электрическая мощность плазмоторна;  $Q$  – калорийность угля;  $G$  – расход угля через муфель с плазмоторном.**



## Основные показатели плазменно-угольных горелок для воспламенения низкорреакционных углей

	Стенд ОЦ ПЭТ, Россия	Гусинозер- ская ГРЭС, Россия	Шаогуанская ТЭС, Китай	ТЭС «Вояны», Словакия
Мощность плазмотрона, kW	<b>320</b>	<b>150</b>	<b>320</b>	<b>260</b>
Тип горелки	вихревая	прямоточная	Вихревая с водо- охлаждаемыми стенками	Вихревая с футерованными стенками
Расход первичного воздуха, м <sup>3</sup> /ч	<b>1800</b>	<b>2500</b>	<b>2100</b>	<b>3500</b>
Максимальный расход угля, т/ч	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4,7</b>
Теплота сгорания угля, МДж/кг	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>19,3</b>	<b>25,5</b>
Выход летучих, %	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>8,2</b>	<b>7,5</b>
Зольность, %	<b>19</b>	<b>27</b>	<b>30,5</b>	<b>18,7</b>
Тонина помола, % (R <sub>90</sub> )	<b>48</b>	<b>15-20</b>	<b>10</b>	<b>8</b>
Температура факела, °C	<b>1200</b>	<b>1150</b>	<b>1170</b>	<b>1400</b>
Длина факела, м	<b>2,5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>



**Схема газификатора**  
**Комбинированный плазменный алло-автотермический газификатор (ПААГ) с двумя плазменными ступенями установлен на котле БКЗ-640 Гусиноозерской ГРЭС паропроизводительностью 640 т/ч.**  
**Производительность ПААГ по углю составляет 32 т/ч.**  
**Состав получаемого газа (об.%):**  $\text{CO} = 17.4$ ,  $\text{H}_2 = 8.7$ ,  $\text{CH}_4 = 1.5$ ,  $\text{CO}_2 = 4.7$ ,  $\text{N}_2 = 67.5$ ,  $\text{NO}_x = 40-60 \text{ мг/нм}^3$ ,  $\text{SO}_x = 100-150 \text{ мг/нм}^3$ .



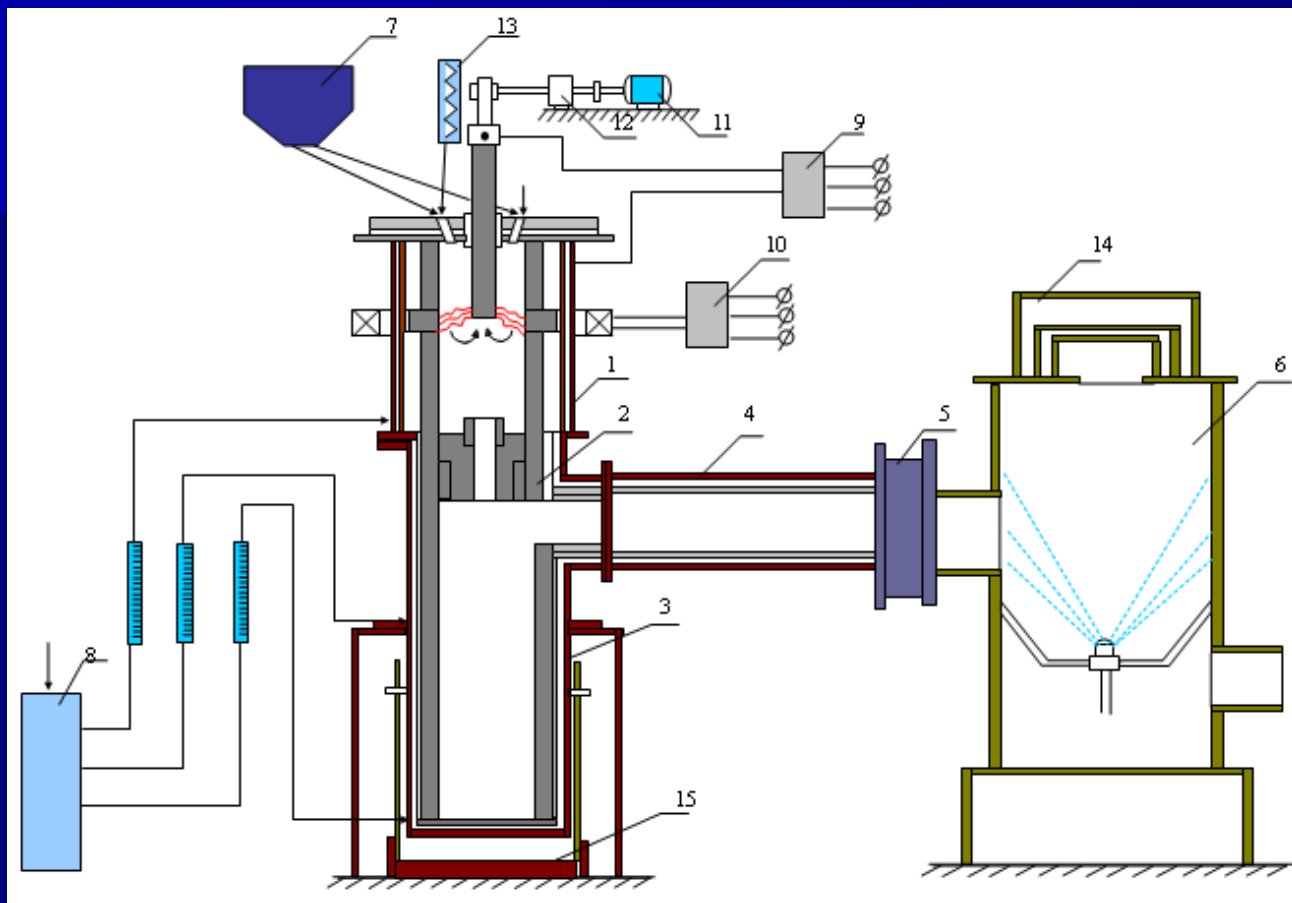
***Плазменная  
установка для  
переработки  
углей.***







## Схема установки для плазменной газификации углей.



1 – реактор; 2 –  
камера разделения  
газа и шлака;  
3 – шлакоборник;  
4 – камера  
удаления синтез-  
газа;  
5 – диафрагма;  
6 – камера  
охлаждения

синтез-газа; 7 – пылепитатель; 8 – система охлаждения; 9, 10 –  
система электропитания; 11, 12 – механизм подачи стержневого  
электрода; 13 – парогенератор; 14 – камера гидратации;  
15 – подъемник шлакоборника.





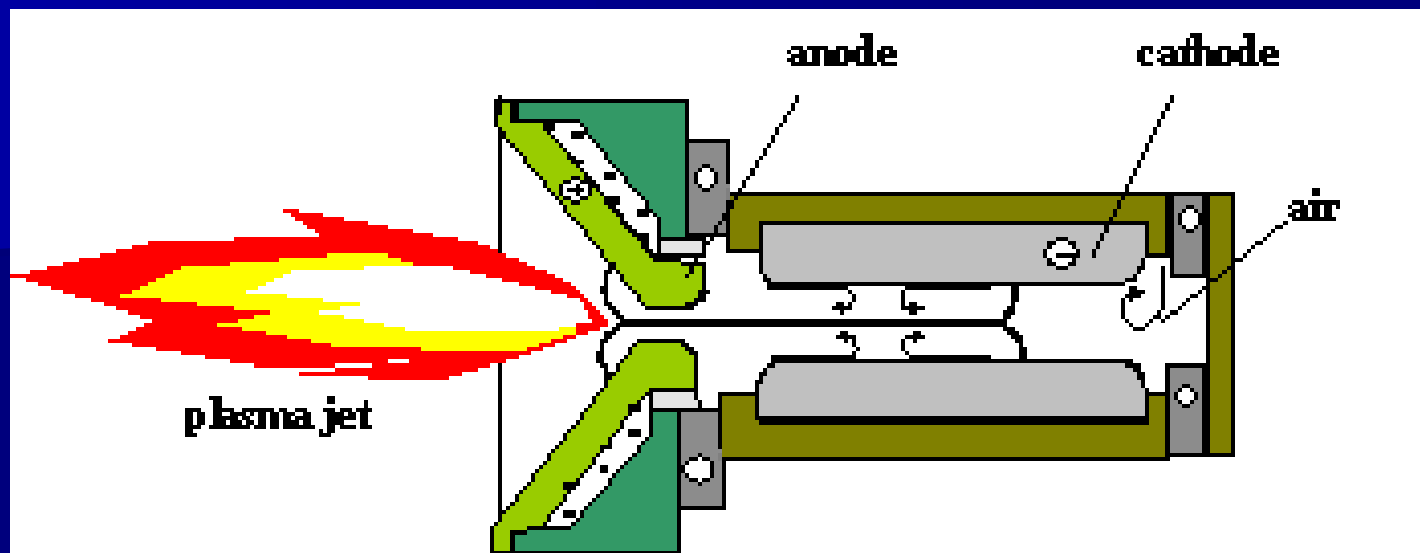
## *Состав куучекинского угля, мас. %.*

$A^d$	C	$O_2$	$H_2$	$N_2$	S	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	CaO	MgO	$K_2O+Na_2O$
40	48.86	6.56	3.05	0.8	0.73	23.09	13.8	2.15	0.34	0.31	0.31

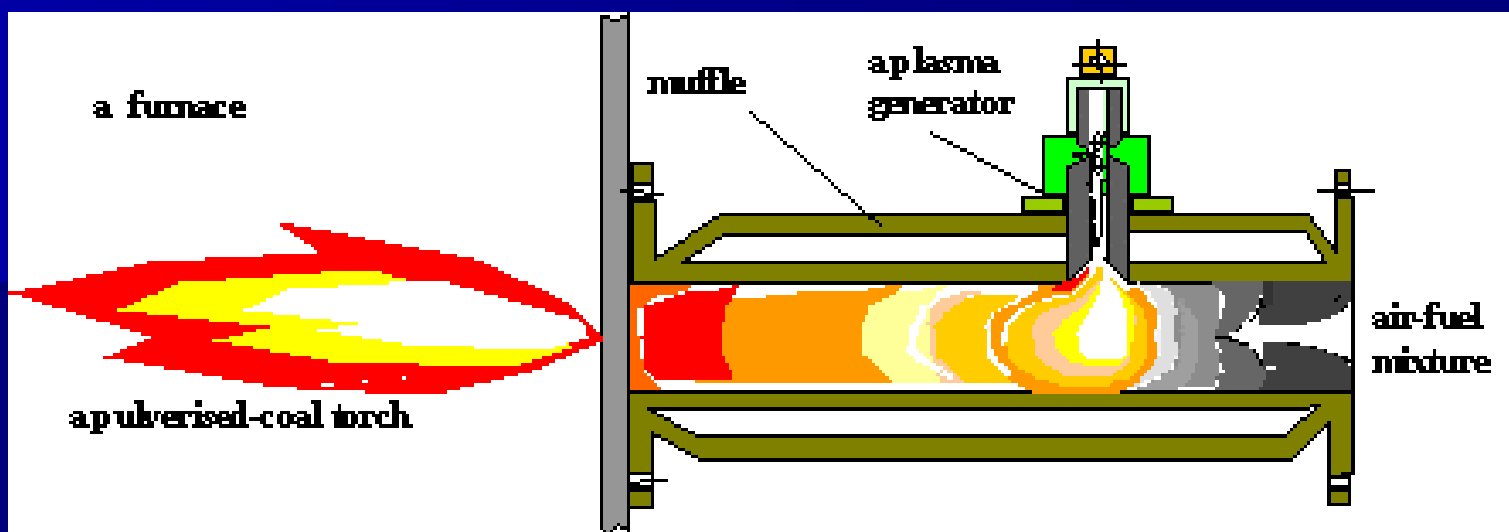
*Низшая теплота сгорания на рабочую массу 4137 ккал/кг.*

## *Результаты плазменно-паровой газификации угля.*

$T, K$	$G_{coal} / G_{steam}$	$P, kW$	CO	$H_2$	$CO+H_2$	$X_C, \%$
			Volume %			
3500	4/1.92	30	41.5	55.8	97.3	93.7
3800	4/1.44	30	35.9	57.6	89.4	93.5



**Плазменно-Энергетические Технологии (ПЭТ) повышают эколого-экономическую эффективность сжигания угля при замещении им природного газа и мазута в топливном балансе ТЭС. ПЭТ – единственная плазмохимическая технология, используемая для осуществления крупнотонажных процессов в энергетике.**



Основные преимущества Плазменно-Энергетических Технологий заключаются в: снижении выбросов  $\text{NO}_x$  за счет подавления их образования и увеличении эффективности сжигания твердых топлив за счет сокращения их мехнедожога.



## **БЛАГОДАРНОСТЬ**

**Авторы выражают искреннюю благодарность Европейской Комиссии за финансовую поддержку этих совместных исследований, их развитие и распространение полученных результатов в рамках программы DG-XII (Контракты ИНКО Коперникус No IC15-CT98-0516 и No ISA2-CT-2001-10006) и Проект МНТЦ К-746.**

**Авторы также признательны профессору Ф. Локвуду (Империял Колледж Лондон) за его поддержку и координацию этих проектов.**