

ПЛАЗМЕННАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

**В.Е. Мессерле, А.Л. Моссэ, А.Б. Устименко, Р.В. Баймулдин,
Ж.Ж. Ситдигов**

ТОО «НТО Плазмотехника», НИИ экспериментальной и теоретической
физики КазНУ им. аль-Фараби МОН РК, г. Алматы, Казахстан
ГНУ Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси, Минск, Беларусь
ust@physics.kz

**9-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ФИЗИКИ И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ
ФИЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ»**

ПРЕИМУЩЕСТВА ПЛАЗМЕННЫХ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

- Глубокое разложение отходов с образованием простых соединений, что значительно упрощает их очистку от вредных примесей;
- Возможность совместной переработки различных видов отходов без их предварительной сортировки;
- Значительное уменьшение объема отходящих дымовых газов, а, следовательно, и нагрузки на систему газоочистки;
- Меньший унос дисперсных частиц;
- Высокая производительность при малых габаритах оборудования;
- Возможность создания желательной газовой атмосферы;
- Возможность получения конечного продукта в стабильной форме;
- Возможность оперативной регулировки процесса путем изменения расхода окислителя (воздуха, пара или др. плазмообразующего газа) и мощности плазмотронов.

ТИПИЧНЫЙ СОСТАВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (ТБО)



УСРЕДНЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТБО

C	H	O	N	S	Cl	H ₂ O	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaCO ₃
34.15	5.85	6.29	8.16	0.94	5.3	32.31	3.0	2.0	2.0

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для расчета газификации ТБО используется термодинамическая программа TERRA.



Расчеты выполнены в интервале температур 300 - 3000K при давлении 0.1 МПа.

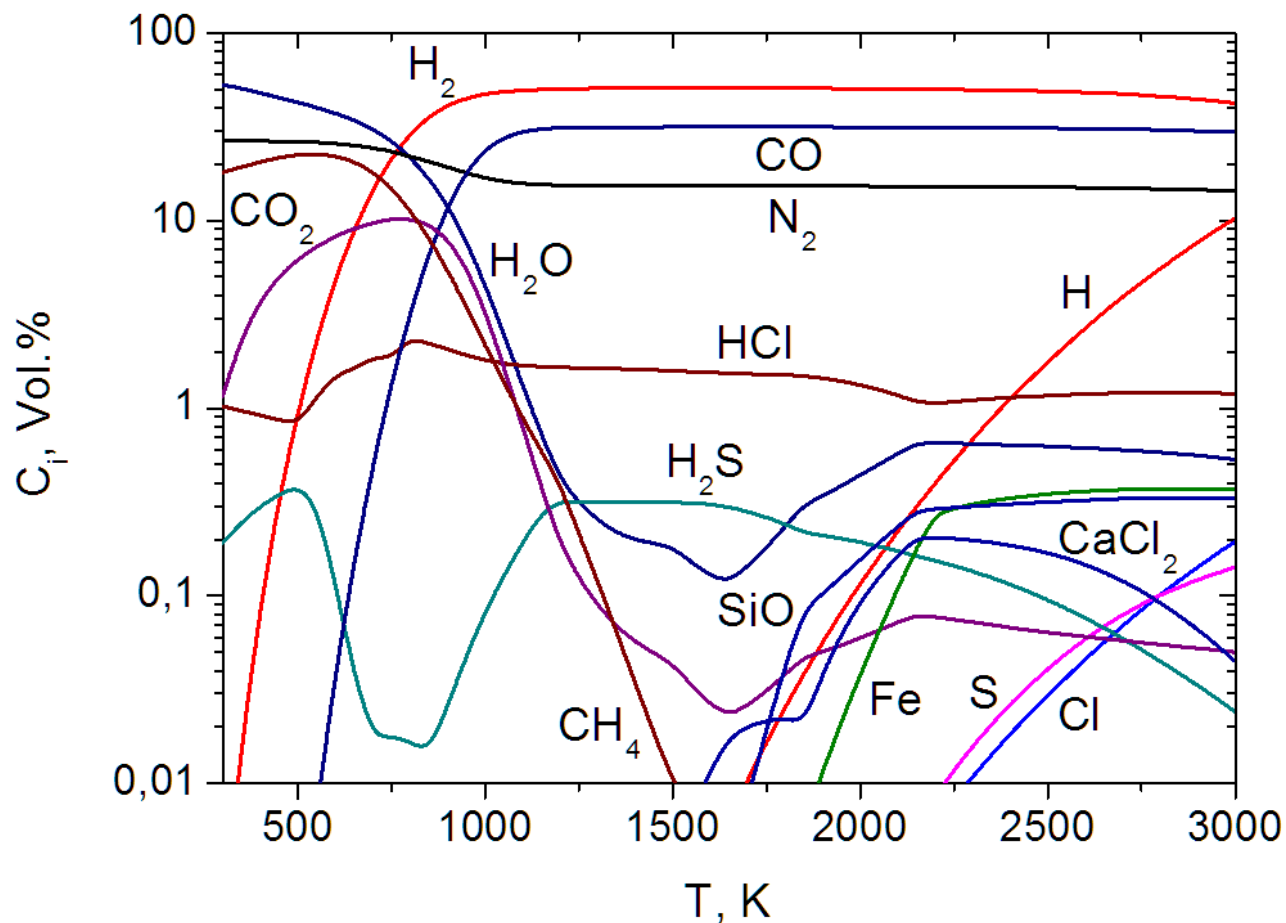
Первоначальный состав системы для расчета

10 кг отходов + 4 кг воздуха

10 кг отходов + 1 кг водяного пара

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

10 кг отходов + 4 кг воздуха



T = 1600 K:

CO – 31.7%

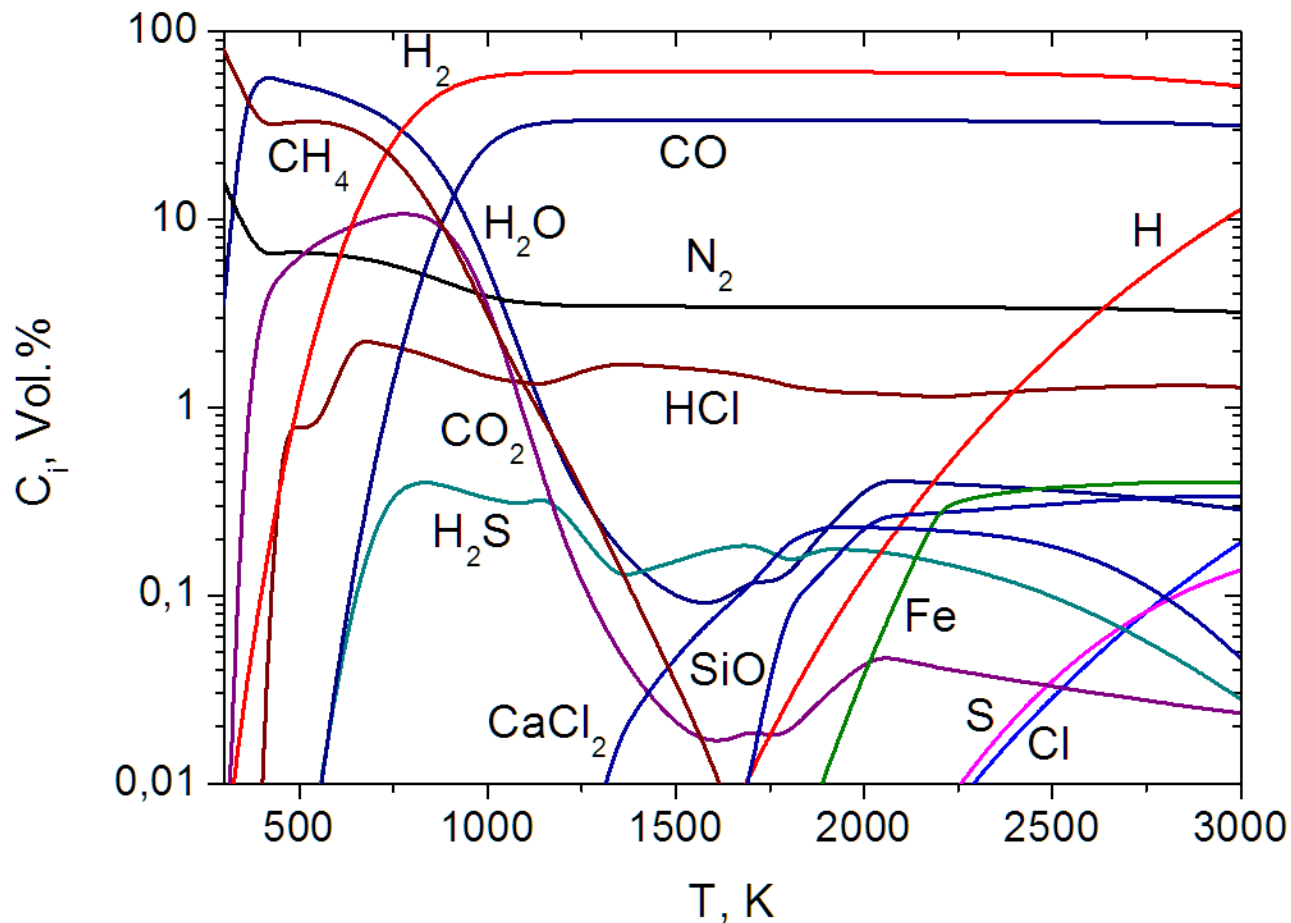
H₂ – 50.7%

N₂ – 15.0%

Изменение концентрации органических компонентов газовой фазы в зависимости от температуры плазменной переработки отходов

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

10 кг отходов + 1 кг водяного пара



T = 1600 K:

CO – 33.6%

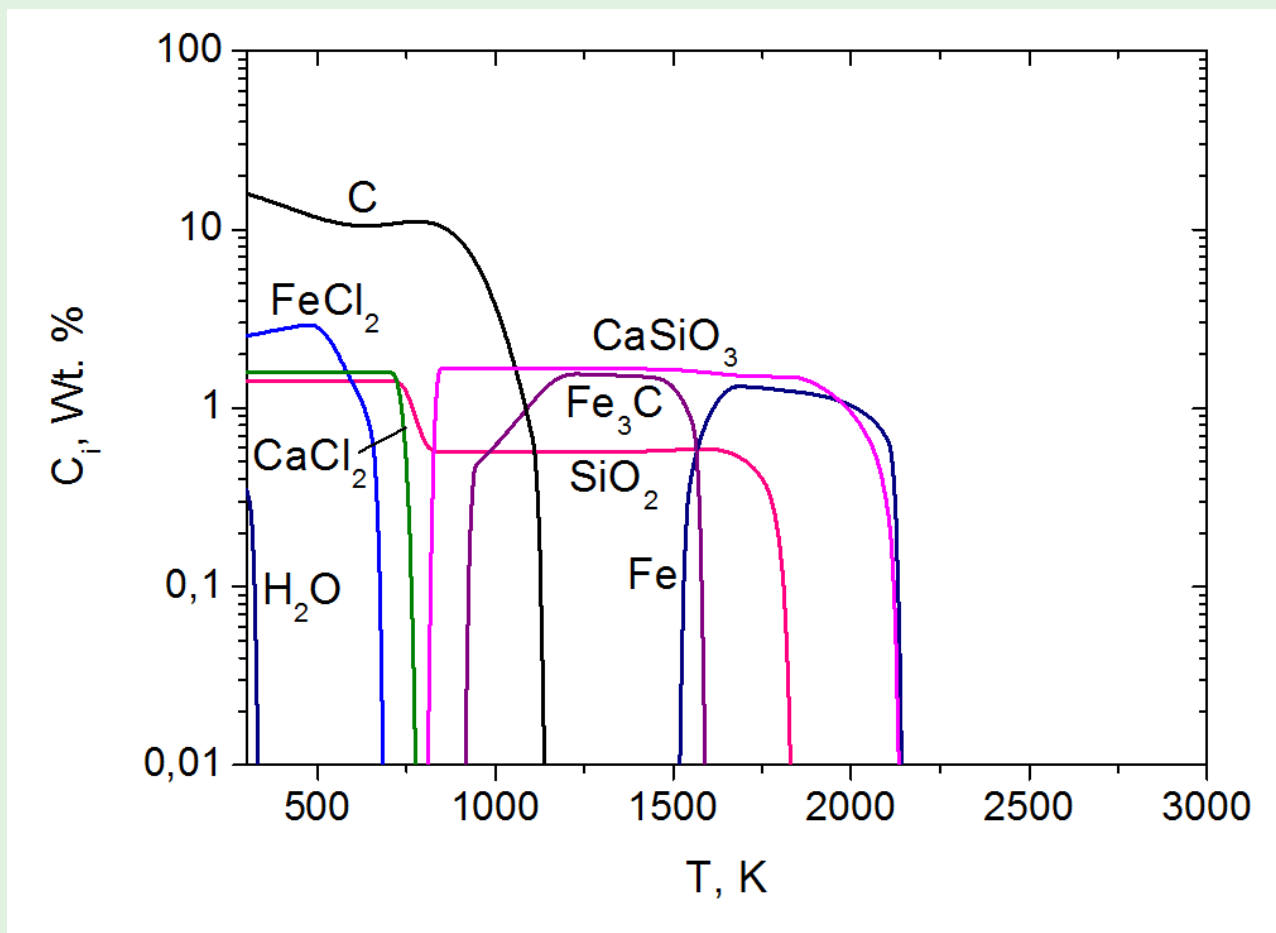
H₂ – 60.9%

N₂ – 3.4%

Изменение концентрации органических компонентов газовой фазы в зависимости от температуры плазменной переработки отходов

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

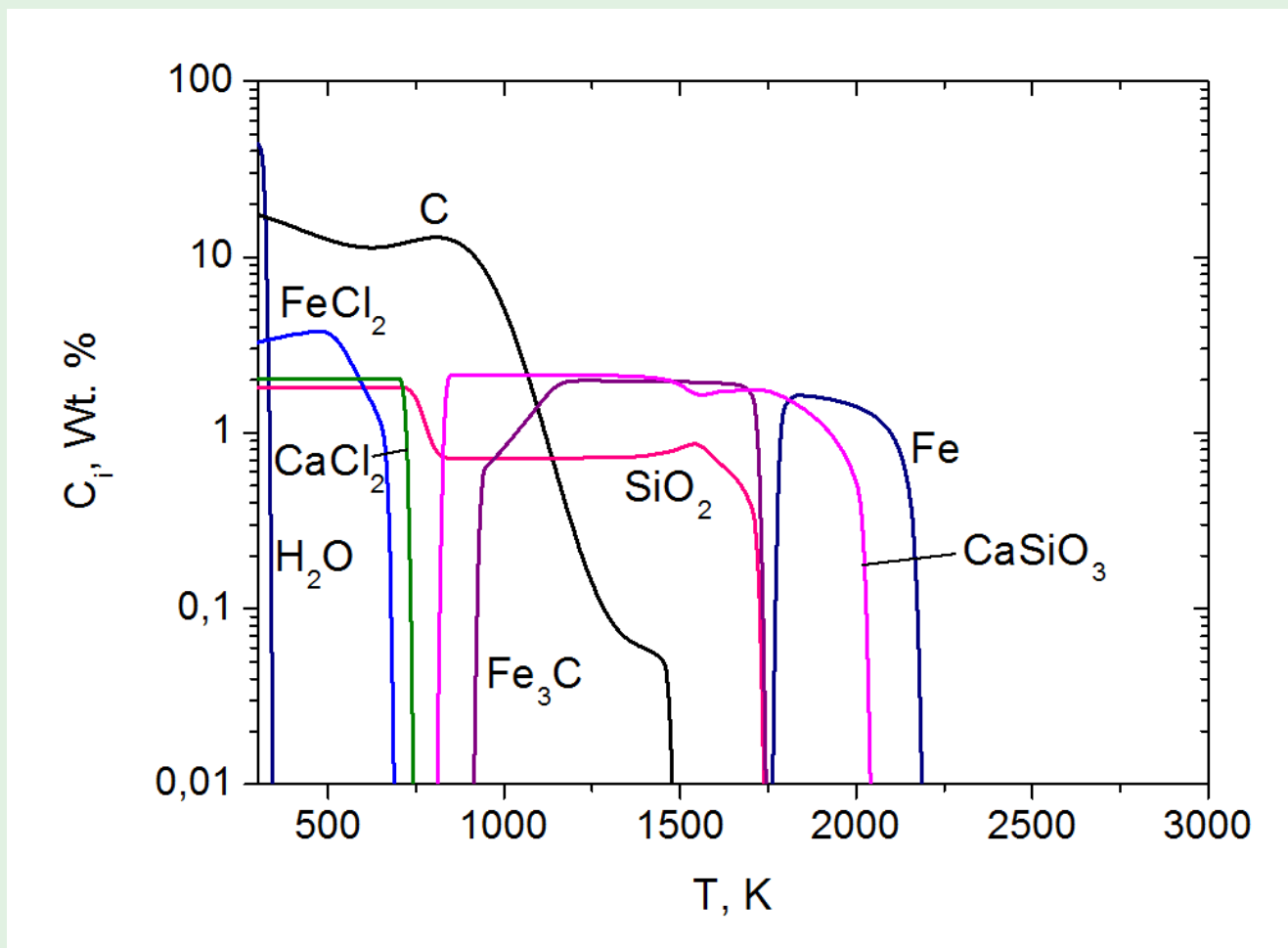
10 кг отходов + 4 кг воздуха



Изменение концентрации компонентов конденсированной фазы в зависимости от температуры плазменной переработки отходов

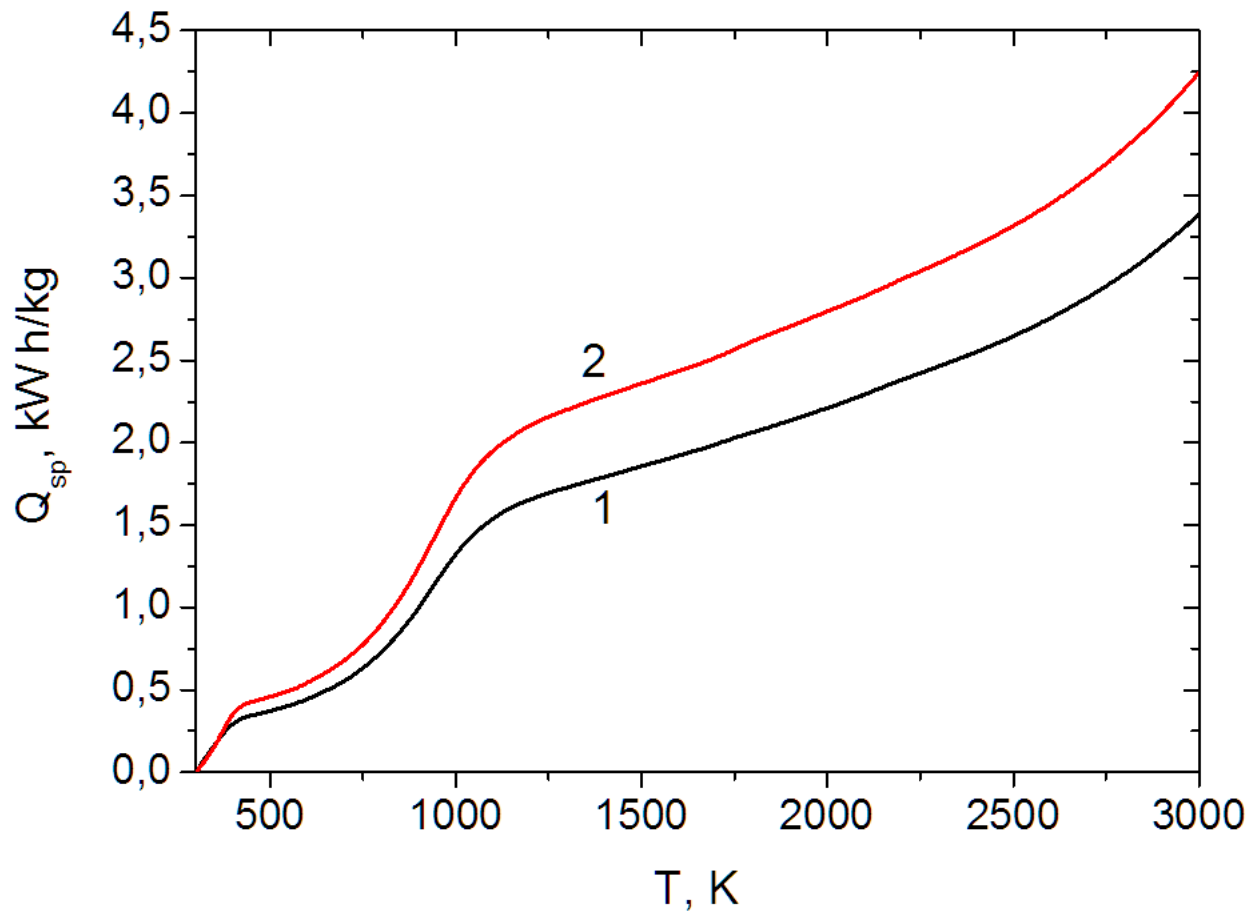
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

10 кг отходов + 1 кг водяного пара



Изменение концентрации компонентов конденсированной фазы в зависимости от температуры плазменной переработки отходов

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ



$T = 1600$ K:

$Q_{sp1} - 1.92$ кВт ч/кг

$Q_{sp2} - 2.44$ кВт ч/кг

**Изменение удельных энергозатрат на плазменную переработку
ТБО в зависимости от температуры:**

1 - 10 кг отходов + 4 кг воздуха; 2 - 10 кг отходов + 1 кг водяного пара

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

10 кг отходов + 4 кг воздуха

10 кг отходов + 1 кг водяного пара

$T = 1600 \text{ K}, X_c = 100 \%$

$Q_{sp} - 1.92 \text{ кВт ч/кг}$

$Q_{sp} - 2.44 \text{ кВт ч/кг}$

$\text{CO} - 31.7\%$

$\text{CO} - 33.6\%$

$\text{H}_2 - 50.7\%$

$\text{H}_2 - 60.9\%$

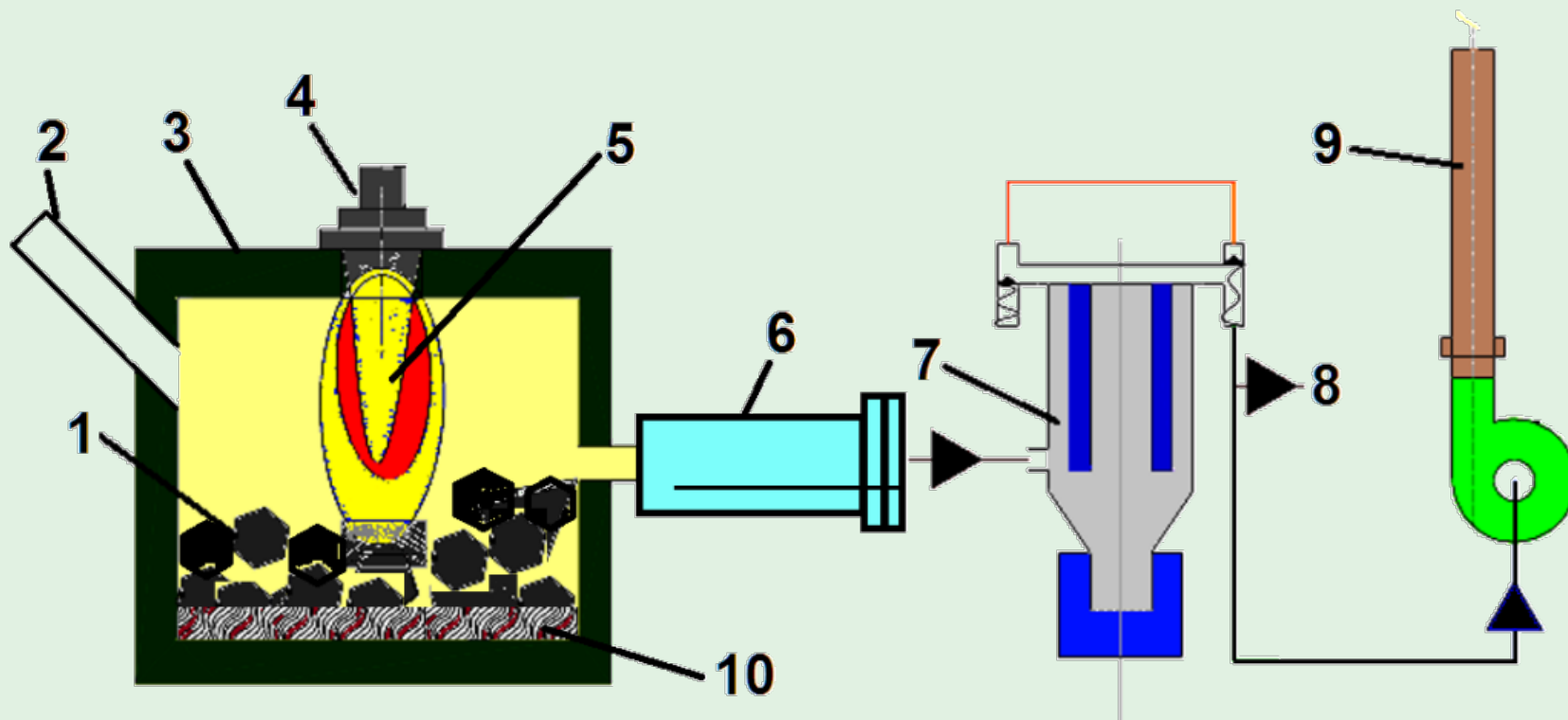
$\text{N}_2 - 15.0\%$

$\text{N}_2 - 3.4\%$

$Q - 3410 \text{ ккал/кг}$

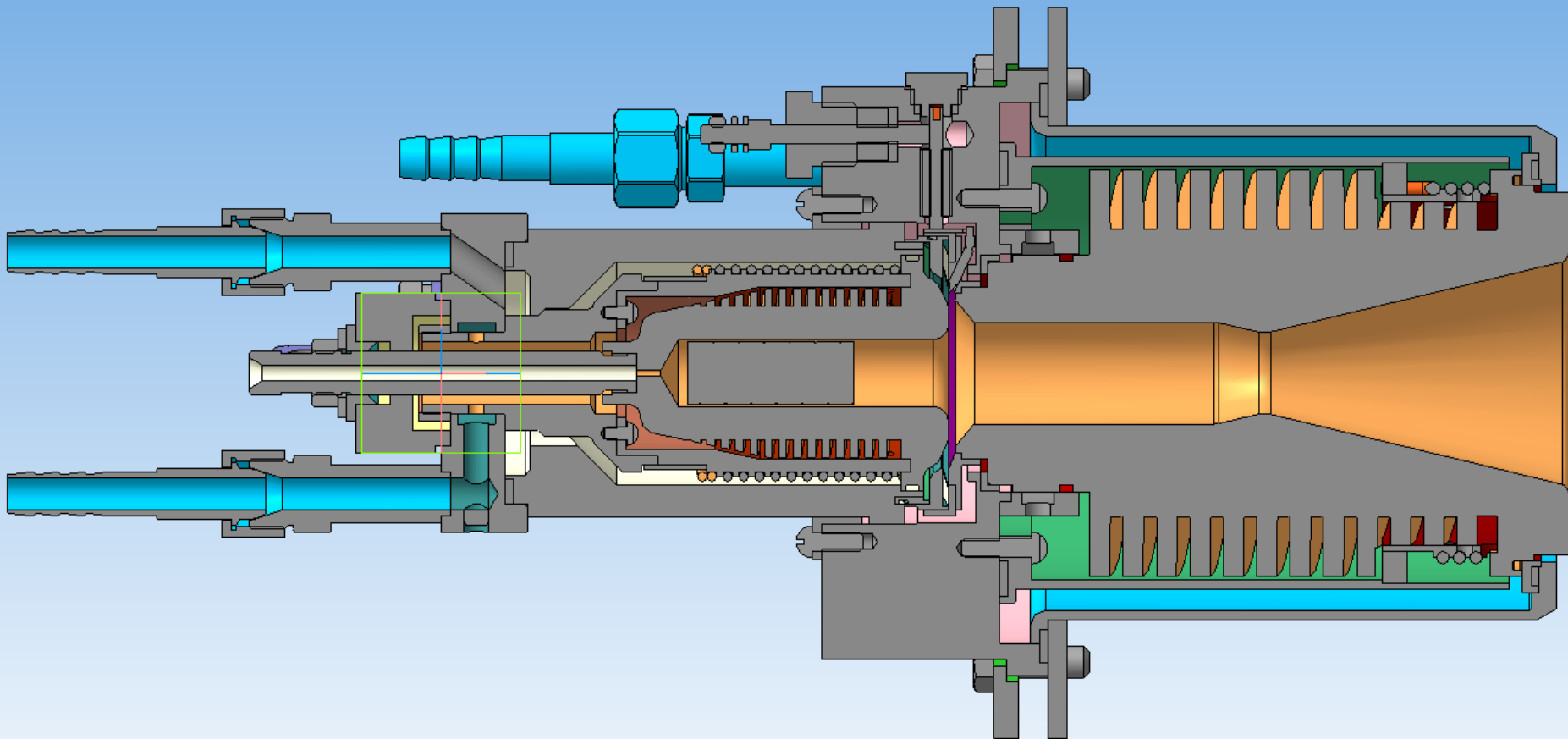
$Q - 4640 \text{ ккал/кг}$

Схема экспериментальной установки для плазменной переработки ТБО



1 – зона газификации ТБО; 2 – трубопровод для подачи брикетов ТБО; 3 – реактор; 4 – электродуговой плазмотрон; 5 – плазменный факел; 6 – блок охлаждения газов; 7 – узел очистки газа с рукавным фильтром; 8 – система отбора проб газа для анализа; 9 – система вытяжки; 10 – зона формирования шлака

Плазмотрон является основным элементом установки



Высокоресурсный плазмотрон мощностью 70 кВт

Плазмотрон является основным элементом установки



**Высокоресурсный плазмотрон мощностью 70 кВт в действии:
Температура факела 5000 К**

Реактор с плазмотроном



Газификация ТБО

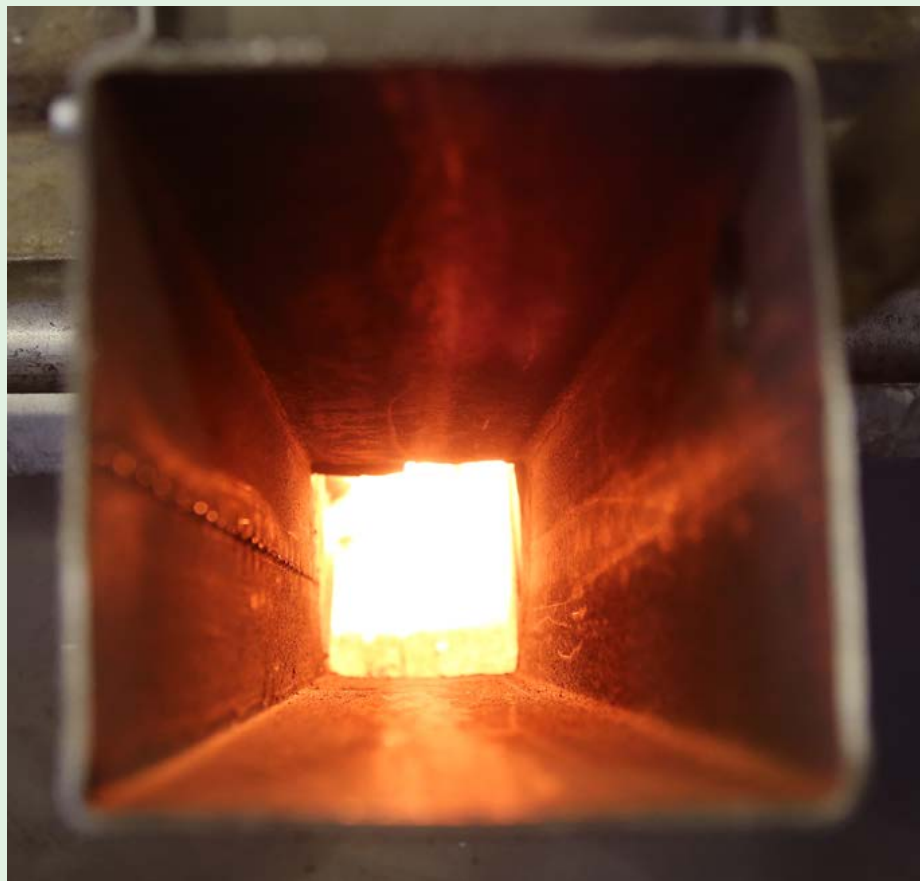


Брикеты с ТБО

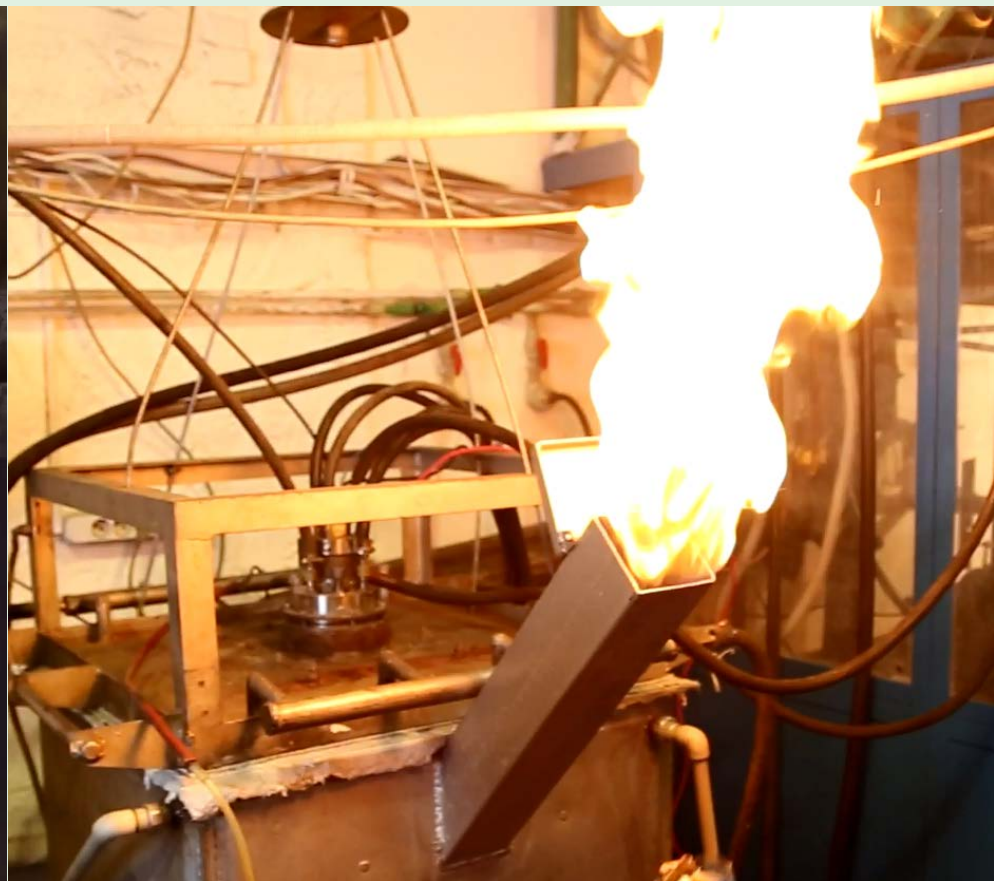
Продукты плазменной газификации ТБО



Газификация ТБО



Плазменный реактор в действии
($T=1400^{\circ}\text{C}$)



Горение синтез-газа ($T=1500^{\circ}\text{C}$)
 $\text{CO}+\text{H}_2=71.1\%$

ПАРМЕТРЫ ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ

- Тепловой источник – плазмотрон постоянного тока мощностью от 35 до 100 кВт.
- Плазмообразующий газ – воздух, расходом 1,0-2,0 г/с.
- Геометрические размеры реактора: высота 0.45 м, сторона - 0.45 м, футеровка - 65 мм.
- Количество обрабатываемого материала – ТБО: 30.0 кг/ч.
- Режимы работы: прогрев – 5 мин, газификация ТБО – 3 мин, плавления неорганических веществ – 7 мин. Суммарный цикл работы (с учетом остывания и новой загрузки) – 30 мин.

СОСТАВ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МОДЕЛЬНЫХ МБО

Газ	Концентрация, об. %	
	Эксперимент	Расчеты
Моноксид углерода (CO)	26.5	31.7
Водород (H ₂)	44.6	50.7
Азот (N ₂)	28.9	15.0
Всего:	100	97.4

СОСТАВ ШЛАКА ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОГО ПЕРЕРАБОТКИ МБО

Компоненты шлака	Концентрация, масс. %	
	Эксперимент	Расчеты
Карбид железа (Fe_3C)	60.2	25.2
Силикат кальция (CaSiO_3)	21	44.7
Диоксид кремния (SiO_2)	13	16.3
Железо (Fe)	3	13.8
Углерод (C)	2.8	0
Всего:	100	100
Степень газификации	91.8	100
Удельные энергозатраты		
Q_{sp} (кВт ч/кг)	2.25	1.92

Заключение

- Термодинамические расчеты показали, что максимальный выход синтез-газа при плазменной газификации углеродсодержащих отходов в воздушной и паровой средах достигается при температуре 1600К.
- При воздушно-плазменной газификации ТБО может быть получен высококалорийный синтез-газ с концентрацией 82.4% (CO – 31.7%, H₂ – 50.7%), а при паро-плазменной газификации - с концентрацией 94.5% (CO – 33.6%, H₂ – 60.9%). Удельная теплота сгорания синтез-газа, полученного при воздушной газификации составляет 3410 ккал/кг, а при паровой – 4640 ккал/кг.
- При оптимальной температуре (1600 К) удельные энергозатраты на воздушную газификацию ТБО составляют 1.92 кВт ч/кг, а на паровую газификацию – 2.44 кВт ч/кг.

Заключение

- **Найденные параметры и выявленные закономерности процесса плазменной газификации ТБО в различных газифицирующих агентах были использованы для разработки и создания экспериментальной плазменной установки.**
- **По результатам термодинамического анализа и экспериментальных исследований плазменной газификации ТБО в газообразных и конденсированных продуктах процесса вредных примесей не выявлено. Из органической массы ТБО получен высококалорийный синтез-газ, а из минеральной массы – нейтральный шлак, состоящий в основном из карбида железа, моносилката кальция, кремнезема и железа.**
- **Сопоставление результатов эксперимента и расчетов показало хорошее согласие.**