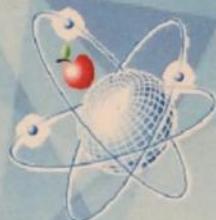


ҚР БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
ЭКСПЕРИМЕНТИК ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ФИЗИКА  
ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТЕУ ИНСТИТУТЫ  
АШЫҚ ТУРДЕГІ ҰЛТЫҚ НАНОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРХАНА

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE RK  
AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY  
SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF EXPERIMENTAL  
AND THEORETICAL PHYSICS  
NATIONAL NANOTECHNOLOGY OPEN LABORATORY



«ФИЗИКАНЫҢ ЗАМАНАУИ ЖЕТИСТІКТЕРІ ЖӘНЕ  
ІРГЕЛІ ФИЗИКАЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ» атты  
9-шы Халықаралық ғылыми конференцияның

## ТЕЗИСТЕР ЖИНАҒЫ

12-14 қазан, 2016, Алматы, Қазақстан

## СБОРНИК ТЕЗИСОВ

9-ой Международной научной конференции  
«СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ФИЗИКИ  
И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ»

12-14 октября, 2016, Алматы, Казахстан

## BOOK OF ABSTRACTS

of the 9<sup>th</sup> International Scientific Conference  
«MODERN ACHIEVEMENTS OF PHYSICS AND  
FUNDAMENTAL PHYSICAL EDUCATION»

October, 12-14, 2016, Kazakhstan, Almaty

Алматы 2016

## ПЛАЗМЕННАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В.Е. Мессерле<sup>1,2</sup>, А.Л. Моссэ<sup>3</sup>, А.Б. Устименко<sup>4,5</sup>, Р.В. Баймурдин<sup>4</sup>, Ж.Ж. Ситдиков<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем горения, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>ГНУ Институт тепло- и массообмена НАН Беларусь, Минск, Беларусь

<sup>4</sup>НИИ экспериментальной и теоретической физики, КазНУ им. аль-Фараби,

Алматы, Казахстан

<sup>5</sup>ТОО «НТО Плазмотехника», Алматы, Казахстан

Особое место среди опасных видов отходов занимают так называемые медико-биологические отходы (МБО), которые по существу также можно отнести к твердым бытовым отходам (ТБО). МБО опасны в эпидемиологическом отношении, поскольку содержат патогенные микроорганизмы, а также могут быть загрязнены токсичными и радиоактивными веществами. Установлено, что их опасность для окружающей среды значительно выше, чем у большинства химических отходов.

Плазменная газификация является наиболее перспективной технологией переработки ТБО, включая МБО. В настоящей работе представлены результаты термодинамического анализа и экспериментов по получению высококалорийного синтез-газа плазменной (воздушной и паровой) газификацией МБО.

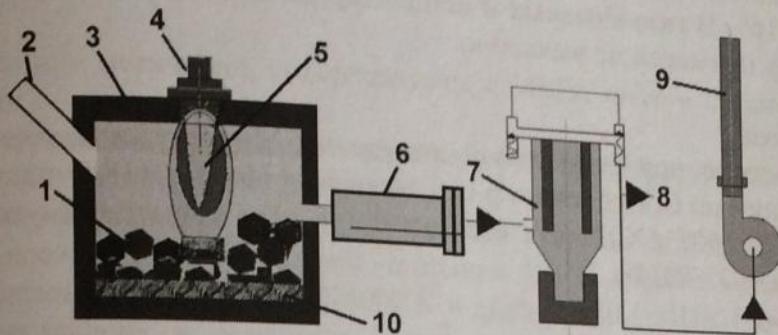
Характерный состав МБО представляется следующими составляющими: бумага и картон - 36%, пищевые отходы - 21%, стекло - 2%, железо и его оксиды – 3%, пластмассы - 13%, древесина - 5%, резина, кожа и другие горючие вещества - 16%, текстиль - 2%, карбонат кальция - 2%. Для выполнения термодинамических расчетов плазменной газификации МБО использовался программный комплекс TERRA. Расчеты проводились в диапазоне температур 300 – 3000 К и давлении 0.1 МПа. Рассчитаны паровая и воздушная газификация МБО для следующих составов исходной технологической смеси, соответственно: 1) 10 кг УСО + 4 кг воздуха; 2) 10 кг УСО + 1 кг водяного пара.

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 МБО может быть получен высококалорийный синтез-газ с концентрацией 82.4% (CO – 31.7%, H<sub>2</sub> – 50.7%), а при паро-плазменной газификации - с концентрацией 94.5% (CO – 33.6%, H<sub>2</sub> – 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 УСО составляют 1.92 кВт ч/кг, а на паровую газификацию – 2.44 кВт ч/кг. Этот высококалорийный газ может быть использован в качестве рабочего тела газо-турбинных и газо-поршневых установок для генерирования электроэнергии. Отметим, что в газообразных и конденсированных продуктах плазменной газификации УСО отсутствуют вредные примеси.

Найденные параметры и выявленные закономерности процесса плазменной газификации МБО в различных газифицирующих агентах были использованы для разработки экспериментальной плазменной установки.

Экспериментальные исследования газификации МБО выполнены на установке, основными элементами которой являются высокоресурсный плазмотрон постоянного тока номинальной мощностью 70 кВт и реактор периодического действия производительностью по МБО до 30 кг/ч. В состав экспериментальной установки (рис. 1) кроме реактора 3 с плазмотроном 4 входят системы электроснабжения и управления плазмотроном, а также системы газо- и водоснабжения реактора с плазмотроном и очистки отходящих газов 7. Установка

снабжена системой отбора газообразных 8 и конденсированных продуктов 10 процесса газификации МБО для проведения их анализа.



1 – зона газификации ТБО; 2 – патрубок для подачи брикетированных ТБО; 3 – реактор; 4 – электродуговой плазмотрон; 5 – плазменный факел; 6 – блок охлаждения отходящих газов; 7 – блок газоочистки с рукавным фильтром; 8 – система отбора газа на анализ; 9 – система вытяжной вентиляции; 10 – зона шлакообразования.

Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки для плазменной газификации ТБО

Процесс плазменной газификации МБО осуществляется следующим образом. После включения плазмотрона 4 и прогрева реактора 3 до температуры внутренней поверхности футеровки 1100 К, измеряемой на расстоянии 0.2 м от крышки реактора, через патрубок 2 в зону газификации 1 подаются брикетированные УСО. Масса каждого брикета – 0.4 кг. УСО газифицируются в воздушном (паровом) плазменном факеле 5, обеспечивающем среднемассовую температуру в объеме реактора до 1700 К. Образующиеся газообразные продукты выводятся из реактора в систему охлаждения отходящих газов 6, а конденсированные продукты скапливаются в зоне шлакообразования 10. Совмещение зон тепловыделения от факела 5, газификации ТБО 1 и шлакообразования 10 способствует интенсификации процесса переработки ТБО. Охлажденные газообразные продукты поступают в блок газоочистки 7, после которого с помощью системы отбора 8 газ подается на газоанализатор. Система вытяжной вентиляции 9 обеспечивает разряжение в реакторе до 10 мм водяного столба. Время полного цикла переработки МБО составляет 30 мин. Известно, что для полного разложения диоксида циркония необходимо выдерживать газ в течении 2 с при температуре не менее 1500 К, обеспечиваемой тепловой мощностью плазменного факела 5. В качестве газифицирующего агента использовался плазмообразующий воздух с расходом 12 кг/ч. Мощность плазмотрона составляла 72 кВт (240 А, 300 В). После прогрева реактора в течении 15 минут через патрубок 2 было последовательно загружено 20 брикетов УСО (табл. 1) общей массой 8 кг. Под воздействием воздушного плазменного факела, среднемассовая температура в камере достигала 1600 К, органическая часть УСО газифицировалась, а неорганическая часть плавилась и скапливалась в зоне шлакообразования реактора. Полученный синтез-газ через системы охлаждения и очистки непрерывно выводился из установки. Расплавленная минеральная часть УСО удаляется из реактора после выключения плазмотрона и охлаждения реактора.

По результатам экспериментальных исследований плазменной газификации МБО определены режимы работы плазменного реактора, выполнен анализ отходящих газов, получены образцы конденсированных продуктов, отобранных из зоны шлакообразования реактора, и определено остаточное содержание углерода в шлаке. По результатам газового анализа получен следующий состав газа на выходе из блока газоочистки, об. %: CO – 26.5, H<sub>2</sub> – 44.6, N<sub>2</sub> –

28.9. Суммарная концентрация синтез-газа составила 71.1%, что хорошо согласуется с данными термодинамического расчета. Выход синтез-газа согласно расчету при температуре 1600 К составлял 82.4%. Расхождение между экспериментом и расчетом по выходу синтез-газа не превышает 16%. В газообразных и конденсированных продуктах плазменной газификации МБО вредных примесей не выявлено.

#### *Благодарности*

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по Соглашению о субсидии N14.607.21.0118 (уникальный идентификатор проекта RFMEF160715X0118) и Министерства образования и науки Республики Казахстан (3078/ГФ4 и 0071/ПЦФ).

## **ПЛАЗМЕННАЯ ПЕРЕРАБОТКА БУРОГО УГЛЯ С ПОЛУЧЕНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ГАЗА И ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОЙ МАССЫ**

**В.Е. Мессерле <sup>1,2</sup>, А.Б. Устименко <sup>3,4</sup>, К.А. Умбеткалиев <sup>1</sup>, Ц.Ц. Дамбиев <sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

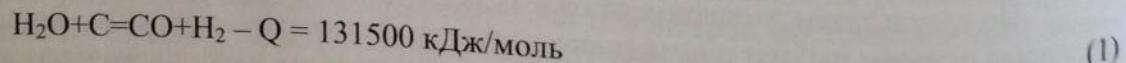
<sup>2</sup> Институт проблем горения, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup> НТО Плазмотехника ТОО, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup> Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>5</sup> Восточно-Сибирский Государственный Университет Технологий и Управления, Улан-Удэ, Россия

Мировая энергетика в настоящее время и на обозримую перспективу (до 2100 г.) ориентирована на использование органического топлива, главным образом твердых топлив, доля которых в выработке электроэнергии составляет 40%, а тепловой – 24%. В этой связи разработка плазменной технологии их эффективного и экологически чистого использования является приоритетной задачей в области топливоиспользования. С экологической точки зрения плазменная технология комплексной переработки углей для получения синтез-газа из органической массы угля (ОМУ) и ценных компонентов из минеральной массы угля (ММУ) наиболее перспективна. Ее сущность состоит в нагревании угольной пыли электродуговой плазмой, являющейся окислителем, до температуры полной газификации, при которой ОМУ превращается в экологически чистое топливо – синтез-газ, свободный от частиц золы, оксидов азота и серы. Одновременно происходит восстановление оксидов ММУ углеродом коксового остатка и образование ценных компонентов, таких как технический кремний, ферросилиций, алюминий и карбосилиций [1]. В случае плазменной комплексной переработки угля эндотермический эффект реакции газификации углерода водяным паром



полностью компенсируется энергией электродуговой плазмы. Оксиды минеральной массы угля (ММУ) восстанавливаются до металлов и металлоидов по следующим реакциям: