

## Перспективы использования плазменной технологии для переработки/уничтожения техногенных отходов

**И.А. ШАРИНА.** E-mail: sharina@itp.nsc.ru

**Л.Н. ПЕРЕПЕЧКО,** кандидат физико-математических наук.  
E-mail: ludmila@itp.nsc.ru

**А.С. АНЬШАКОВ,** доктор технических наук, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН, Новосибирск.  
E-mail: anshzkov@itp.nsc.ru

Приведены результаты исследований по применению плазменных технологий для переработки и уничтожения техногенных отходов. Сделан сравнительный анализ термических методов переработки на примере твёрдых бытовых отходов. Показано, что переработка в плазме неопасных техногенных отходов становится экономически выгодной либо при повышении тарифов, либо при условии использования вторичных товарных продуктов.

*Ключевые слова:* низкотемпературная плазма, плазмотрон, техногенные отходы, энергетика, экология, сжигание, газификация, синтез-газ

Согласно исследованиям агентства MarketsandMarkets, мировой рынок технологий переработки отходов в энергию (Waste-to-Energy, WTE) по итогам 2010 г. составил около 22,9 млрд долл. (эти цифры относятся только к твёрдым бытовым отходам и не учитывают переработку сельскохозяйственной продукции, жидких отходов, вредных и опасных веществ и пр.). Рынок до 2015 г. увеличивался со среднегодовым темпом 5,5%.

К числу основных методов высокотемпературной переработки органических отходов относятся следующие.

**Инсинерация** – сжигание в специальных печах при температурах 800–1200°C. *Достоинства:* метод применим ко всем видам отходов, не требуются предварительные сортировка и подготовка, достигаются уменьшение объема на 90% и полная стерилизация. *Недостатки:* выбросы токсичных газов, образование в процессе сжигания новых отходов, необходимость сложных систем газоочистки, что существенно удорожает технологии.

На рынке РФ широко представлены отечественные инсинераторы – «ИН», «ИУ», «Вулкан» и др.

**Пиролиз** – предварительное разложение органической составляющей отходов в бескислородной атмосфере при температуре 1200–1300°C. *Достоинства:* возможность управляемого сжигания, не образуются

диоксины и фураны. *Недостатки:* небольшая производительность (100–200 кг/ч).

На рынке РФ представлены отечественная установка «ЭЧУТО» и французская «Мюллер».

**Плазменная технология** – высокотемпературное воздействие при 1300–1700°C с полным разложением отходов. Плазменная переработка за счёт высокой температуры позволяет уничтожить высокотоксичные опасные отходы, в том числе медицинские. *Достоинства:* возможность полной переработки любых видов отходов, малые габариты оборудования, значительное уменьшение объема очищаемого газа и, соответственно, объема очистных сооружений; получение товарных продуктов (инертный шлак и топливные газы). *Недостатки:* высокий расход электроэнергии (0,5–20 кВт·ч/кг отходов), повышенные концентрации возгонов тяжелых металлов в отходящих газах, что усложняет работу газоочистной установки, большие эксплуатационные затраты на обслуживание плазмотронов и ремонт плазмохимического реактора.

Согласно исследованию компании Pike Research [1], более 90% глобального оборота обеспечивают станции, на которых используется термальная деструкция мусора (в том числе пиролиз, плазменная газификация). На биологические процессы (газ из отходов – landfillgas, биогаз, ферментация и проч.) приходится остальная часть рынка, и соотношение долей до 2016 г. не претерпит какого-либо изменения.

Сегодня в мире работают более 900 термических станций утилизации мусора. Эти станции перерабатывают ежегодно до 0,2 млрд т мусора, генерируя 130 млрд кВт·ч электроэнергии (примерно шестая часть ежегодной генерации электроэнергии в России). Лидирующей технологией в этом сегменте является традиционное сжигание мусора. Тем не менее сегмент так называемых «продвинутых технологий переработки» (advancedthermaltreatment, АТТ), таких, как плазменная газификация, считается наиболее перспективным, и его доля, равно как и доля биологических станций, растёт с каждым годом.

Главные участники рынка в сегменте термической переработки – компании ABB, AE&A Inova, Babcock&Wilcox Volund, Babcock Power, China Everbright, Covanta Energy, Ensyn, Fisia Babcock Environment, Foster Wheeler, HDR Inc., Jansen Combustion&Boiler Technologies, JFE, Keppel Seghers, Martin, Suez Environment, Veolia Environmental Services North America, Wheelabrator, Xcel Energy, Xylowatt.

На рынке биологической переработки ключевыми поставщиками выступают Bekon, Biogas Nord, Biogen Greenfinch, BTA, Global Water Engineering, Haase Anlagenbau, Kompogas, Organic Waste Systems, Ros Roca International, Schmack Biogas, Strabag Umweltanlagen, Valorga International, Wehrle Umwelt.

Одной из максимально безопасных экологически чистых технологий в настоящее время, по мнению ряда экспертов и разработчиков, считается плазменная – применение низкотемпературной плазмы (дуговой и высокочастотной) для решения экологических и энергетических задач на основе, например, плазменной газификации органической составляющей техногенных отходов и получения расплава неорганики для строительной индустрии.

В отличие от огневых, в плазменной технологии используется высокий уровень температур в газификаторе (1500–1700°C), что обеспечивает практически полный перевод содержащегося в отходах углерода в СО и позволяет нейтрализовать любые опасные вещества. Образующийся в результате газификации топливный газ состоит из водорода (45–55% объема), СО (25–30%), а также содержит небольшие количества метана, ацетилена и этилена. Калорийность полученного синтез-газа может составлять до 30–35% от теплотворной способности природного газа. Это делает возможным его использование для работы газовых турбин при выработке электроэнергии.

По данным Cayman Registered Corporation [2], в мире насчитывается ограниченное количество действующих плазменных установок. Вот некоторые из них.

*Франция:*

- Bordeaux: витрификация золы на мусоросжигательном заводе (муниципальные твердые отходы) в Бордо;
- Evroplasma – CHORPower; переработка твердых бытовых отходов в плазме.

*Швейцария:*

- Muttenz: уничтожение опасных отходов MGC – PlasmaAG (Plasmox);
- Zwiilag: уничтожение радиоактивных отходов MGC – Plasma AG.

*Германия:*

- Munster: уничтожение химических отравляющих веществ (Plasmox).

*Южная Корея:*

- опытные плазмотермические установки для переработки медицинских отходов и плавления золы от мусоросжигательного завода (г. Инчон) на основе

совместных разработок с Институтом теоретической и прикладной механики Сибирского отделения РАН, Новосибирск;

- Taejon/ KAERI (Корейский институт исследований атомной энергии) / Hanjung/ MeltTran (USA): установка по уничтожению радиоактивных отходов.

*Япония:*

- Westinghouse/Hitachi: опытный завод и завод на 200 т твердых бытовых отходов в день. Проект не реализован.

*Южно-Африканская Республика:*

- плазмохимический реактор для утилизации жидких промышленных отходов и шлам-лигнина на основе ВЧ-плазмы. Разработка Томского политехнического университета (ТПУ), Томск;
- плазменная иммобилизация отходов ядерного топлива в ВЧФ-разряде. Разработка ТПУ, Томск.

*Тайвань:*

- установка PEAT для уничтожения жидких растворителей и полихлорированных дифенилов (PCB). Используется российская плазменно-дуговая горелка.

*США:*

- Westinghouse Plasma Corp. совместно с фирмой Alter NRG (Канада): разработка плазменного оборудования для газификации твердых бытовых отходов производительностью 680 т в сутки;
- PEPS I и PEPS II – 500 кВт; стационарная и передвижная установки, построенные для лаборатории CERL для исследований в шт. Виржиния и Джорджия;
- MSE – установка PODS/ARDEC – Hawthorne Ammo Depot, шт. Невада. Уничтожение боеприпасов;
- научно-исследовательская лаборатория PAWDS – плазменно-дуговая система уничтожения мусора на борту авианосца. Прототип построен Ryugogenesis в Канаде;
- PET: эта компания построила установку для уничтожения химического оружия, шт. Северная Каролина;
- Retek – плазменно-дуговая установка мощностью 6,5 МВт для плавления титана и сплавов.

В списке представлены некоторые данные о штучных плазменных установках не только для переработки и уничтожения отходов, но и для других высокотехнологичных процессов.

При этом никакой информации об успешно работающих заводах и установках высокотемпературной переработки техногенных отходов в доступных источниках не появилось.

В США планировалось создать до 2015 г. крупнейший завод по плазменной переработке твердых бытовых отходов (150 тыс. т в год). Но до сих пор сведения об успешно работающих заводах

и установках высокотемпературной переработки техногенных отходов отсутствуют.

В России и странах СНГ генераторами низкотемпературной плазмы занимаются многие организации, но каждая разработка имеет свою специфику.

В Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе (Новосибирск) создано одно из направлений развития электротермического оборудования – электроплазменные печи для переработки различных отходов с получением синтез-газа и остеклованного шлака. Научные положения данного подхода изложены в монографиях [3, 4, 5], в многочисленных статьях, представлены в трудах отечественных и международных конференций. Разработанные в Институте теплофизики СО РАН технологические дуговые плазмотроны обеспечивают длительный ресурс работы электродов (от 500 ч) при нагреве практически любых газовых сред до температуры 3000÷5000 К.

Получаемый синтез-газ отличается высокой калорийностью – 10–13 МДж/м<sup>3</sup>. С учетом возросшего интереса к плазме водяного пара для газификации отходов в институте разработан пароводяной плазмотрон мощностью до 100 кВт [6].

Наиболее близкими по параметрам являются плазменные установки Института теплофизики (ИТ) СО РАН и Института электрофизики и электроэнергетики (ИЭЭ) РАН (Санкт-Петербург). Тем не менее установка ИТ СО РАН имеет некоторые преимущества (таблица), что видно при сравнении данных по газификации одинакового сырья – древесины. В технологии ИТ СО РАН с использованием пароводяного плазмотрона в получаемом газе значительно меньше балластного азота. В результате теплота сгорания синтез-газа выше в 1,5 раза, такой синтез-газ пригоден для электрогенерирующих устройств.

По мнению авторов [7], плазму целесообразно применять в мобильных системах с небольшой производительностью для переработки широкого спектра отходов, для расплавления золы от мусоросжигательных заводов, для розжига и стабилизации горения отходов с низкой теплотой сгорания, однако считать её перспективной для многотоннажного производства по переработке твердых бытовых отходов не следует. Плазменная технология эффективна также для уничтожения опасных отходов, тарифы на переработку которых достаточно высоки. Переработка

в плазме остальных видов техногенных отходов становится экономически выгодной в двух случаях:

- при повышении тарифов, что является социальной проблемой;

- при условии получения и использования вторичных товаров-продуктов, что позволит не только компенсировать затраты на электроэнергию и обслуживание, но и получить прибыль. Причём только имеющий высокую теплотворную способность синтез-газ пригоден для сжигания в электрогенерирующих устройствах с получением электроэнергии или тепла.

#### Сравнение плазменных технологий ИТ СО РАН и ИЭЭ РАН

Параметры процесса	ИЭЭ РАН			ИТ СО РАН		
	Вид перерабатываемых отходов					
	древесина	RDF <sup>*)</sup>	отходы шин <sup>*)</sup>	лузга риса	БИО	древесина (опилки)
Теплота сгорания сырья, МДж/кг	16	15	33	13,0	11,5 <sup>**)</sup>	14,5
Вторичное дутьё	-	-	Водяной пар	-	-	-
На 1 кг сырья: плазмообразующего газа, кг	1,44	1,51	2,88	-	-	-
вторичного дутья, кг	-	-	1,33	-	-	-
Затраты энергии, кВт·ч/кг	1,0	1,06	1,85	0,79	1,67	1,02
Температура плазмы, °С	1950	2000	1800	1750	1900	1800
Общая калорийность синтез-газа с 1 кг сырья, МДж/м <sup>3</sup>	15,28	14,47	29,6	13,95	10,2	17,15
Содержание горючих (H <sub>2</sub> +CO) в газе, % об.	55,9	53,8	54,6	86,22	90,61	86,55
Теплота сгорания синтез-газа, МДж/м <sup>3</sup>	6,16	5,88	5,89	9,9 <sup>***)</sup>	10,2 <sup>***)</sup>	9,8 <sup>***)</sup>
Состав газа, % об.:						
водород (H <sub>2</sub> ),	24,5	26,3	30,6	49,4	61,56	61,54
монооксид углерода (CO),	31,4	27,5	24,0	36	28,8	24,8
углекислый газ (CO <sub>2</sub> ),	3,5	3,2	5,2	2,8	7,6	7,3
вода (H <sub>2</sub> O),	4,9	4,9	4,9	-	-	-
азот (N <sub>2</sub> )	35,7	37,8	35,1	8,5	1,69	5,1
кислород (O <sub>2</sub> )	-	-	-	2,2	-	1,1
метан (CH <sub>4</sub> )	-	-	-	0,8	0,25	0,16
этан (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	-	-	-	0,02	-	0,05

\*) расчетные данные,

\*\*\*) на сухую массу,

\*\*\*) экспериментальные данные.

Собственные оценки показывают, что по технологии Института теплофизики СО РАН при плазменной переработке сельскохозяйственной биомассы с теплотворной способностью около 18 МДж/кг реактором производительностью 500 кг/ч получают (при КПД электрогенерирующего агрегата 0,3) 1000 кВт·ч электроэнергии. Подведенная мощность на плазмотроны составляет около 350–400 кВт·ч. С учётом дополнительного расхода электричества на собственные нужды (100–150 кВт) технология обеспечивает дополнительную выработку электроэнергии 500 кВт·ч для продажи другим потребителям. Тогда как по технологии ИЭЭ РАН и компании S.A.A. (Канада) [8] при плазменной переработке отходов с теплотворной способностью 10,5 МДж/кг реактором производительностью 20 т/ч получают 438 кВт·ч электроэнергии для реализации на стороне.

\*\*\*

Применение низкотемпературной плазмы в технологиях переработки и уничтожения техногенных отходов является перспективным технологическим направлением.

К настоящему времени плазменные технологии переработки отходов прошли экспериментальную стадию и готовы к промышленному внедрению, однако до сих пор они существуют лишь в единичных экспериментальных экземплярах и находятся в режиме тестирования.

Основной недостаток технологии, сдерживающий её практическое распространение, – использование самого дорогого вида энергии – электрической.

Плазменную технологию целесообразно применять для уничтожения опасных отходов, тарифы на переработку которых достаточно высоки.

Переработка в плазме остальных видов техногенных отходов становится экономически выгодной либо при повышении тарифов, либо при условии получения и использования вторичных товарных продуктов, в первую очередь синтез-газа, для сжигания в электрогенерирующих устройствах с получением электроэнергии или тепла.

## Литература

1. Сайт компании Pike Research. URL: [www.pikeresearch.com](http://www.pikeresearch.com) (дата обращения: 06.04.2015).
2. Сайт DuTemp Corporation. URL: [www.dutemp.com](http://www.dutemp.com) (дата обращения: 06.04.2015).
3. *Чередниченко В.С., Казанов А.М., Аньшаков А.С. и др.* Современные методы переработки твердых бытовых отходов. – Новосибирск: ИТ СО РАН, 1995. – 55 с.
4. *Даутов Г.Ю., Тимошевский А.Н., Аньшаков А.С.* Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии. – Новосибирск: Наука, 2004. – 464 с.
5. *Чередниченко В.С., Аньшаков А.С., Кузьмин М.Г.* Плазменные электротехнологические установки. – Новосибирск: НГТУ, 2008. – 602 с.
6. *Аньшаков А.С., Урбах Э.К., Радько С.И., Урбах А.Э., Фалеев В.А.* Генератор плазмы водяного пара для газификации твердых топлив // Теплоэнергетика. – 2013. – № 12. – С. 29–32.
7. *Тугов А.Н., Москвичев В.Ф.* О целесообразности использования плазменных технологий для термической утилизации ТБО // Твердые бытовые отходы. – 2014. – № 9. – С.44–47.
8. Предложение правительству Москвы от компании Американское торговое партнерство в России по оборудованию для переработки твердых отходов посредством плазменно-дугового реактора с импульсной системой питания. URL: [http://dutemp.com/who\\_we\\_are/Docs/Russian/letter\\_to\\_moscow\\_russian\\_complete.pdf](http://dutemp.com/who_we_are/Docs/Russian/letter_to_moscow_russian_complete.pdf) (дата обращения: 27.02.2015).