



И.А. Архаров, д-р техн. наук, Е.Н. Симакова, канд. пед. наук, Е.С. Навасардян, канд. техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия). E-mail: arkharov@bmstu.ru

Свалочный газ как источник сырья для энерготехнологических процессов

Проблема утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) весьма актуальна. Несмотря на разнообразие существующих способов переработки и утилизации твердых бытовых отходов, большая их часть (в Москве — около 95 %) сбрасывается без предварительной сортировки на открытые полигоны (свалки).

Очевидно, что оптимальный способ утилизации ТБО — промышленная переработка. Постепенный переход от полигонного захоронения к промышленной переработке — основная тенденция в мировой практике. В европейских странах полигонное захоронение ТБО приостановлено с 2010 г. Однако для промышленной переработки ТБО требуются большие капиталовложения, поэтому строительство объектов промышленной переработки ТБО невозможно осуществить быстро, и в ближайшей перспективе площади под полигоны неизбежно будут только увеличиваться.

Промежуточный, относительно быстрый способ ликвидации заполненных полигонов ТБО — их герметичное консервирование с последующей организацией локальных пунктов сбора обогащенного метановой фракцией свалочного газа. В настоящее время полигоны ТБО являются третьим по величине антропогенным источником метана на планете, выделяя около 11 % общемирового количества метановых выбросов [1].

В 2004 г. была учреждена ассоциация Global Methane Initiative (GMI), задачами которой являются сокращение общемирового объема выбросов метана в атмосферу и содействие мероприятиям по сбору и утилизации метана как ценного экологически чистого источника энергии.

Справочник [2], рекомендованный Министерством природных ресурсов и экологии РФ, в качестве перспективной технологии обращения с ТБО определяет технологию сжижания. Данная технология безопасна и перспективна для мегаполисов при условии соблюдения требований к чистоте отходящих дымовых газов, однако требуется оперативная доставка ТБО в специализированные бункеры для сортировки. Качество ТБО (содержание влаги, глубина протекания процессов гниения и прения и т. д.) оказывает существенное влияние на режимы сжижания. Поэтому для существующих полигонов рекомендуется внедрять современные технологии получения свалочного газа (рис. 1).

Данные о производителях оборудования, предлагающих к внедрению технологии очистки и утилизации свалочного газа, представлены в табл. 1.

По исходному содержанию метана (соответственно, энергетическому потенциальному) условно разделяют понятия «свалочный газ» и «биогаз» в зависимости от исходного способа получения газа: полигоны ТБО — свалочный газ, биореакторы с органическими отходами — биогаз (табл. 2) [3]. Основные составляющие свалочного газа и биогаза — метан CH_4 и диоксид углерода CO_2 , возможно наличие примесей аммиака, высших углеводородов, ароматических соединений.

Данные об энергетическом потенциале свалочного газа/биогаза (определяющим является содержание метана) и основных видов топлива представлены в табл. 3.

Свалочный газ и биогаз (в отличие от нефти и природного газа) не являются природными ресурсами, а их энергетический потенциал равен энергетическому потенциальному нефти и превышает энергетический потенциал экотоплива минимум в 1,5 раза (см. табл. 3). Несмотря на это, консервация полигонов ТБО и добыча свалочного газа с полигонов не находят широкого применения в РФ.

Сбор свалочного газа с полигонов ТБО считается коммерчески неоправданным по следующим причинам: низкое содержание метана в исходном, получаемом с полигонов, свалочном газе (35...50 %) и, как следствие, низкая энергоэффективность сжижания; выделение в атмосферу непосредственно на полигонах ТБО загрязняющих веществ и токсичной ароматической компоненты вблизи даже герметично законсервированного полигона и невозможность расположения потребителя тепловой энергии или электроэнергии в непосредственной близости от полигона; необходимость дополнительного обустройства свалочных полигонов с целью их герметичной консервации после заполнения, инерционность процесса получения свалочного газа (период от начала консервации полигона до выхода метаносодержащего газа — минимум 5 лет), необходимость дополнительных финансовых затрат на закупку зарубежных технологий обогащения и утилизации свалочного газа, и как следствие, сложность прогнозирования отложенной прибыли.

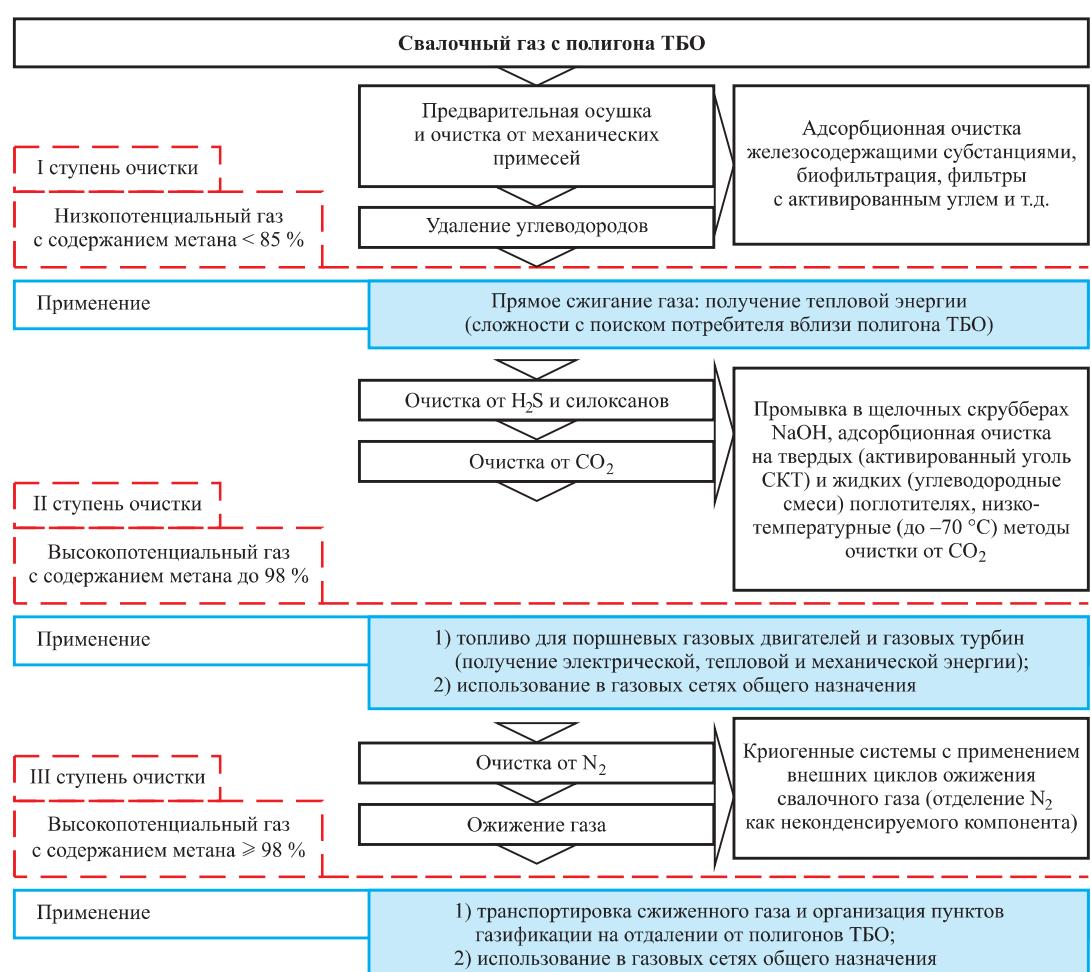


Рис. 1. Стадии очистки и области применения свалочного газа

Начиная с 2011 г., Министерство природных ресурсов и экологии РФ ведет статистику производства электроэнергии из возобновляемых источников [4].

Динамику производства энергии из свалочного газа на территории РФ иллюстрирует **рис. 2**. Доля энергии свалочного газа в общем производстве энергии из возобновляемых источников в РФ: в 2011 г. — 8,61 %, в 2012 г. — 5,43 %, в 2013 г. — 2,77 %, в 2014 г. — 2,59 %. Снижение доли энергии свалочного газа обусловлено увеличением производства ветровой энергии, солнечной энергии, энергии биомассы [4].

Полигоны ТБО — это аккумуляторы энергии, и оценка их энергетического потенциала позволяет получить информацию о количестве накопленной и накапливаемой энергии. Для полигонов, на которых еще не проводится сбор и переработка свалочного газа, определение энергетического потенциала — многофакторная задача, решение которой позволяет определить лишь прогнозируемое значение. Поэтому оценка энергетического потенциала полигонов ТБО Московской области (**табл. 4**) проводилась по усредненным значениям:

проектная норма нагрузки (количество ТБО) на основание полигона — 100 тыс. т/га [5];

среднее значение эмиссии свалочного газа за весь цикл рекультивации полигона с 1 млн. т ТБО — $\sim 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$;

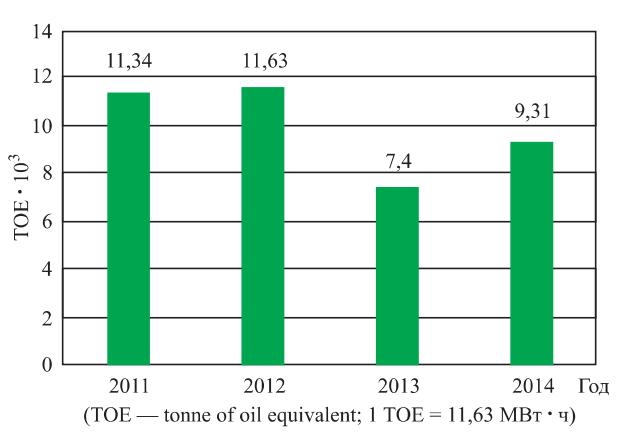


Рис. 2. Гистограмма производства энергии из свалочного газа в РФ

Таблица 1

Производители	Технологии обогащения	Результат
Air Liquide, Франция (http://www.airliquide.com)	Транспортно-модульная технология первичной осушки, очистки от H ₂ S с двухступенчатой фильтрацией через мембранны	
Linde-gas, Германия (http://www.linde-gas.com)	Комбинированная технология конденсационной и адсорбционной осушки и очистки с последующим охлаждением до температуры конденсации метана в криогенном модуле со смесевым хладагентом	Производство тепловой энергии, электроэнергии, сжиженного метана, получение газового топлива для двигателей, сетевого газа
CarboTech, Германия (http://www.carbotech.de)	Комбинированная технология адсорбционной и адсорбционной очистки, очистка на угольных сорбентах от силоксанов, скрубберная десульфуризация и короткоцикловая адсорбция с переменным давлением (PSA)	Производство тепловой энергии, электроэнергии
Cirmac, Нидерланды (www.cirmac.com)	H ₂ S выводится с применением угольного фильтра. После этого в системе LP Cooab® путем адсорбции из газа удаляется двуокись углерода, содержание метана повышается от 60...70 до 99 %. После обогащения газ подвергается осушке в адсорбционной системе с переменной температурой (TSA)	Производство тепловой энергии, электроэнергии, сжиженного метана; получение газового топлива для двигателей, сетевого газа
Gasrec, Англия (www.gasrec.co.uk)	Технология очистки до чистоты 96 % метана (4 % N ₂). H ₂ S выводится с применением адсорбции раствором карбоната калия; последующая двухступенчатая адсорбционная очистка происходит на угольных молекулярных ситах	Производство тепловой энергии, сжиженного метана; получение газового топлива для двигателей, сетевого газа
Gastreatment Services B.V. (GtS), Нидерланды (www.gastreatmentservices.com)	Технология осушки и адсорбционной очистки от H ₂ S и силоксанов	—
HAASE, Германия (www.haase-energietechnik.de)	Технология экологически чистой факельной системы, обеспечивающей сгорание малых количеств свалочного газа или газа с малым содержанием метана	Возможно производство тепловой энергии
Lackeby Water Group AB, Швеция (http://www.swedishcleantech.se)	Технология химической адсорбции обеспечивает очистку до 99,7 % метана	Производство сжиженного метана, газового топлива для двигателей, сетевого газа
Xebec (QuestAir), США (http://www.xebecinc.com)	Модульная технология короткоцикловой адсорбции с переменным давлением PSA	Получение сетевого газа, производство электроэнергии
Prometheus-Energy Company, США (http://www.prometheusenergy.com/)	Комбинированная технология конденсационной и адсорбционной осушки и очистки с последующим охлаждением до температуры конденсации метана в криогенном модуле	Производство сжиженного метана, газового топлива для двигателей, сетевого газа
НПО «Гелиймаш», РФ (http://www.geliymash.ru/)	Системы очистки газа от паров воды и капельной влаги, соединений серы, от тяжелых углеводородов, углекислого газа, азота и для получения сжиженного природного газа (СПГ) на базе адсорбционных, адсорбционных и криогенных технологий	Производство сжиженного метана, газового топлива для двигателей, сетевого газа
ПАО «Криогенмаш», РФ (http://www.cryogenmash.ru)	Модульные адсорбционные установки очистки и осушки, технологии низкотемпературной очистки от CO ₂ , системы охлаждения на базе эффективных циклов со смесевыми хладагентами. Адсорбционные и ректификационные методы обогащения свалочного газа до чистоты 98 % метана и выше	Производство сжиженного метана, газового топлива для двигателей, сетевого газа

Таблица 2

Состав газа, характеристика	Свалочный газ	Биогаз (брожение в метатанке)
Метан (диапазон изменения), % об.	45 (35...65)	65 (60...70)
Водород, % об.	0...3	0
Диоксид углерода (CO_2), % об.	40	35
Азот, % об.	15 (5...40)	0,2
Кислород, % об.	1 (0...5)	0
Сероводород (H_2S), ppm	<100 (0...100)	< 500(0...4000)
Аммоний (NH_4^+), ppm	5	100
Хлор (Cl^-), мг/м ³	(20...200)	(0...5)
Силоксаны, % об.	(0...0,2)	—
Энергетический потенциал (минимальное значение), кВт·ч/м ³	4,4	6,5
Плотность, кг/м ³	1,3	1,2
Число Воббе (наивысшее), МДж/м ³	18	27
<i>Примечание.</i> В скобках — возможный диапазон изменения величины		

энергетический потенциал 1 м³ свалочного газа (чистота 97 %) — 9,67 кВтч.

Выполненный расчет энергетического потенциала полигонов ТБО Московской области позволяет сделать вывод о ничтожно малом (в масштабах РФ), внедрении систем сбора и утилизации свалочного газа. При среднем энергетическом потенциале одного полигона ~80 МВт значение произведенной энергии за год полигонами ТБО РФ (см. рис. 2) достигается за два месяца круглосуточной работы системы утилизации.

Несмотря на большое количество разнообразных способов переработки свалочного газа, все они сводятся

Таблица 3

Наименование топлива	Энергетический потенциал, кВт·ч
Свалочный газ или биогаз (45...65 % об. CH_4), 1 м ³	4,4...6,5
Свалочный газ или биогаз (97 % об. CH_4), 1 м ³	9,67
Сжиженный свалочный газ или биогаз (100 % CH_4), 1 м ³	9,97
Природный газ, 1 м ³	11,0
Нефть, 1 л	9,06
Дизельное топливо, 1 л	9,8
Экотопливо Е85 (75...85 % биоэтанола и 25...15 % бензина), 1 л	6,6

Таблица 4

Наиболее крупные по количеству накопленных отходов полигоны Московской области

Наименование	Площадь, га	Количество ТБО на полигоне, млн. т	Количество производимого полигоном свалочного газа, м ³ /ч	Средний энергетический потенциал полигона, МВт
«Щербинка»	123,45	~12,4	18517,5	~179
«Тимохово»	108,56	~10,9	16284,0	~158
«Хметьево»	79,40	~7,9	11910,0	~115
«Дмитровский»	63,50	~6,4	9525,0	~92
«Кучино»	59,00	~5,9	8850,0	~86
«Саларьево»	59,00	~5,9	8850,0	~86
«Сосенки»	40,00	~4,0	6000,0	~58
«Левобережный»	26,50	~2,7	3975,0	~38
«Алексинский карьер»	20,00	~2,0	3000,0	~29
«Павловский»	14,65	~1,5	2197,5	~21
«Долгопрудный»	13,89	~1,4	2083,5	~20
«Торбеево»	12,80	~1,3	1920,0	~19

к выбору между тремя схемами: получение газа с содержанием метана ниже 85 % (низкопотенциальным газом); получение газа с содержанием метана 85...98 % (высокопотенциальный газ или соответствующий требованиям по чистоте ГОСТ 5542–2014); получение газа с содержанием метана выше 98 % и последующее оживление.

Задачу утилизации свалочного газа с полигонов ТБО можно решить с применением отечественных технологий. НПО «Гелиймаш» и ПАО «Криогенмаш» отработаны технологии осушки, очистки, обогащения и оживления свалочного газа.

Выбор конкретной технологии переработки свалочного газа зависит от многих факторов, главным из которых является принятая регионом политика обращения с ТБО.

Список литературы

1. **Метан** с полигонов ТБО: возможности сокращения выбросов, совершенствования сбора и утилизации // Глобальная инициатива по метану. 2011. С. 1–4. www.globalmethane.org.
2. **Справочник** лучших доступных технологий по обращению с отходами: Режим доступа http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/0aa/Green_Standart_2011.pdf свободный (дата обращения 29.01.2016 г.).
3. **SGC** (2007) Substitute natural gas from biomass gasification. Swedish Gas Centre. Report SGC 187, 1102–7371, ISRN SGC-R-187-SE.
4. **Государственный доклад** Министерства природных ресурсов и экологии РФ за 2014. Режим доступа: свободный (дата обращения 29.01.2016 г.). <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101>.
5. **Инструкция** по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов. Утвержденена Министерством строительства Российской Федерации 2 ноября 1996 г.