



Дорогой наш ТБО

Россия стоит на пороге освоения современных технологий переработки мусора в энергию и пар

Ольга Ашпина

К. Т. Н.

На 1 россиянина в год приходится 300–350 кг твердых бытовых отходов (ТБО), и норма эта постоянно растет. Российские города окружены санкционированными и несанкционированными свалками, подавляющее большинство из которых в силу невыполнения санитарных норм не могут быть названы полигонами, переработка ведется в единичных случаях. Ситуация стала настолько критической, что готовится к принятию федеральная целевая программа, посвященная уничтожению накопленного мусора.

В мировой практике известно более 30 методов обезвреживания и утилизации ТБО. Наиболее практичными считаются комплексные методы, минимально загрязняющие почву, грунтовые воды и атмосферу, а также позволяющие получать дополнительное тепло или энергию.

Ключевой целью сортировки при использовании новых методов утилизации мусора является «отделить то, что горит, от того, что не горит»

Если в 90-х годах прошлого столетия и даже в начале «нулевых» цивилизованный мир повсеместно «отрабатывал» технологии тотальной вторичной переработки мусора, то сегодня значимым трендом стала термическая утилизация. Так, значительное число «промышленных» экспозиций крупнейшей европейской выставки переработчиков Enteco, проходившей раз в два года в Кельне, в 2009 году было посвящено технологиям термического разложения мусора с получением тепла и энергии.

Рынок вторичных материалов в Еврозоюзе пересыщен. «Мы сделали уже все скамейки для своих парков и палетты для погрузки, нам некуда больше девать вторичные полимеры», — разводят руками европейцы. Ключевой целью сортировки



при современной переработке мусора является «отделить то, что горит, от того, что не горит».

ТБО — крайне неоднородный продукт. Именно это свойство мусора является тормозом и главной проблемой организации повсеместной термической утилизации.

Состав ТБО

Исследовательскими лабораториями НИИСтромкомпозит были проведены многолетние наблюдения за количественной и качественной динамикой формирования ТБО в населенных пунктах (здесь и далее приводятся расчеты НИИСтромкомпозит). При изучении морфологического состава отходов сотрудниками института было выделено более 1000 различных ингредиентов. Рекордсменом по количеству видов являются отходы текстиля — до 200 ингредиентов. Отходы бумаги и пищевые отходы вместе добавляют до 150 ингредиентов. При этом доля того или иного вида отходного материала в общей массе ТБО не связана с количеством ингредиентов в группе.

Любой мусор можно рассматривать как смесь трех компонентов: органической субстанции, неорганической субстанции и воды. Вода обуславливает важное свойство ТБО — влажность.

Наибольший экономический интерес с точки зрения утилизации ТБО представляет органическая субстанция, которая, по сути, является нетрадиционным энергоносителем. Органическая субстанция (горючая масса) российских ТБО на 80 % состоит из углеводов, белков, жиров. Доля полимеров составляет около 10 %.

Исследования химического состава неорганической субстанции российского мусора (без учета металлов) показали, что наибольшая доля — около 40 % —

приходится на оксид кальция, около 20 % занимает оксид кремния (рис. 3).

Зная вещественный состав органической субстанции, нетрудно рассчитать ее элементный состав. До 46 % от общей массы приходится на углерод, около 40 % занимает кислород, в пределах 8 % — доля водорода, доли остальных элементов незначительны (рис. 4).

Разброс составляющих органическую субстанцию элементов для различных полигонов лежит в пределах 4–10 %, разброс химического состава минеральной субстанции ТБО и того меньше (исключение — SiO_2). Если же обратиться к элементному составу органической субстанции, то разброс значений по элементам лежит в узком интервале — 1,5–4,5 %. Поэтому можно считать, что ▶

Рис. 1. Состав органической субстанции (горючей массы) российских ТБО, (% масс.)



органическая субстанция российских ТБО по элементному составу (а именно этот показатель — главный в оценке энергетического потенциала ТБО) является однородным продуктом, стабильно сохраняющим свои свойства во времени. Однородным по химическому составу продуктом, сохраняющим свои свойства в динамике, является и минеральная субстанция российских ТБО (без металлов), а соотношение органической и неорганической субстанции в ТБО непостоянно, зависит от многих факторов и обуславливает критерий, характеризующий ТБО как неоднородный продукт.

Сепарирование

Подготовка к термической утилизации ТБО базируется на операции сепарирования, когда органическая субстанция выделяется из общей массы.

Сепарирование осуществляется механическим способом. Продуктами сепарирования могут быть либо органи-

Горючая масса российских ТБО на 80 % состоит из углеводов, белков, жиров. Доля полимеров составляет около 10 %

ческая субстанция, фракция вода и до 5 % остаточного минерального балласта, либо органическая субстанция и до 5 % минерального балласта (физическая вода удалена испарением). Зная элементный состав органической составляющей, легко установить ее теоретическую теплотворную способность.

Рис. 3. Химический состав неорганической субстанции (без учета металлов) российских ТБО, (% масс.)

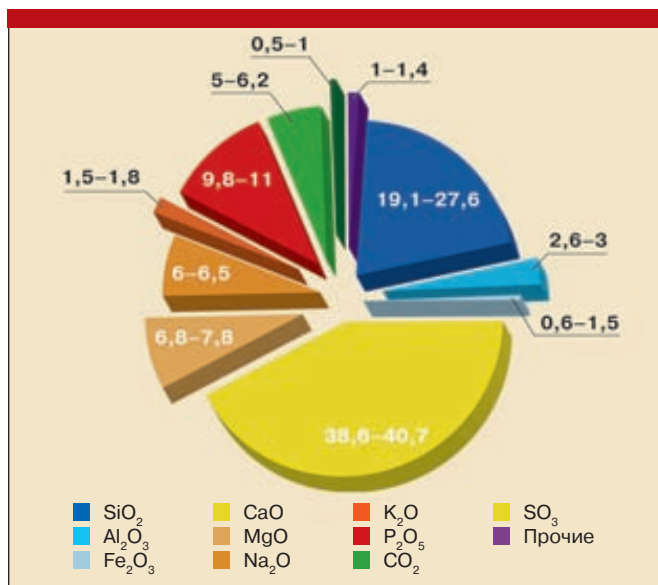


Рис. 2. Морфологический состав российского ТБО



Виды термической обработки

Под термическими методами понимается высокотемпературное воздействие на ТБО, при этом жидкая фаза — физическая вода — испаряется, твердая фаза неорганической субстанции претерпевает структурные превращения (дегидратация, диссоциация, полимор-

физация, плавление, испарение). Что касается органической субстанции, то в зависимости от способа температурного воздействия она может окисляться (сжигание), распадаться (пиролиз), газифицироваться (газификация).

Абсолютное большинство мусоросжигающих заводов применяют *слоевое сжигание ТБО* без какого-либо их сепарирования или подсушивания, при этом для

Рис. 4. Элементный состав органической субстанции российских ТБО, (% масс.)



обеспечения эффективного окисления коэффициент избытка воздуха принимается не ниже 1,5. Для слоевого сжигания характерно наличие большого химического и механического недожога, составляющего 15–17%. В результате такого сжигания температура продуктов сгорания едва достигает 800 °С, в отходящих дымовых газах содержится значительное количество не окисленных легких и тяжелых углеводородов, оксида углерода.

На современных мусоросжигающих заводах (в основном за рубежом) применяется дожиг отходящих продуктов сгорания и специальные системы очистки газов, что требует дорогостоящего оборудования, достаточно сложного в контроле и управлении, и существенно, иногда в два раза, увеличивает стоимость комплектного оборудования для утилизации.

В результате в Россию поставляются главным образом «недоукомплектованные» заводы, не имеющие блоков очистки. Неизбежный при такой схеме выход токсичных соединений в атмосферу именно в России стал «черной меткой» для термической утилизации ТБО вообще.

Россия импортирует мусорные заводы, «не доукомплектованные» блоком очистки от диоксинов и фуранов, что бросает тень на термическую утилизацию ТБО вообще

Известно, что органические вещества не отличаются особой термостойкостью. В условиях их нагревания при отсутствии окислителя распад начинается уже при 200–250 °С, и к 450–500 °С в основном завершается. Сложные органические молекулы разрушаются до более простых, термодинамически устойчивых при данной температуре. Увеличение температуры пиролиза до 1000 °С и более приводит к распаду молекул на элементы. На практике наиболее популярным температурным диапазоном пиролиза ТБО является температура 600–1000 °С.

В таблице 1 представлены результаты исследований процесса пиролиза абсолютно сухой горючей массы среднестатистических российских ТБО, выполненных в НИИСтромкомпозит.

Наличие влаги или балласта в ТБО уменьшает долю горючей составляющей, поэтому показатели, характерные для чистой горючей массы, и показатели для ТБО в целом существенно различаются.

Альтернативой прямому сжиганию ТБО является пиролиз — разложение органической массы под действием высокой температуры без доступа воздуха. Преимущества пиролиза перед прямым

Таблица 1. Результаты исследований процесса пиролиза абсолютно сухой горючей массы среднестатистических российских ТБО

Показатель	Единица измерения	Величина показателя в зависимости от температуры пиролиза		
		600 °С	800 °С	1000 °С
Летучие из 1 кг отходов	кг	0,785	0,81	0,83
Твердый угольный остаток из 1 кг отходов	кг	0,215	0,19	0,17
Зола из 1 кг отходов (после сжигания угольной части твердого остатка)	кг	0,061	0,061	0,061
Вещественный состав летучих (по массе)				
CO ₂	%	22,0	22,1	22,3
CO	%	15,5	15,8	16,58
H ₂ O	%	25,2	25,0	24,4
Смолы	%	12,0	11,8	11,2
CH ₄	%	8,1	8,3	8,6
C _n C _{n1}	%	14,6	14,37	14,3
H ₂	%	0,1	0,15	0,2
Прочие газы	%	2,5	2,48	2,42
Элементный состав твердого остатка (по массе)				
C	%	59,8	61,6	64,0
H	%	4,54	3,0	–
O	%	7,58	2,7	–
N	%	0,1	–	–
Зола	%	28,7	32,5	36,0
Теплотворная способность				
Смеси органической субстанции отходов	ккал/кг	4440	4440	4440
Твердого остатка	ккал/кг	5690	5660	5190
Летучих	ккал/кг	4130	4150	4280

сжиганием заключаются в более высокой энергетической эффективности процесса и экологической чистоте.

Процесс газификации включает пиролиз, как стадию процесса, поэтому генераторная газовая смесь — это композиция, состоящая из пиролизного и генераторного газов. Состав пиролизного газа (летучих) представлен в таблице 1. Состав генераторного газа в идеальном случае (по массе): CO — 34,7% и N₂ — 65,3%. В реальных условиях генераторный газ содержит до 5% CO₂ и до 0,5% O₂.

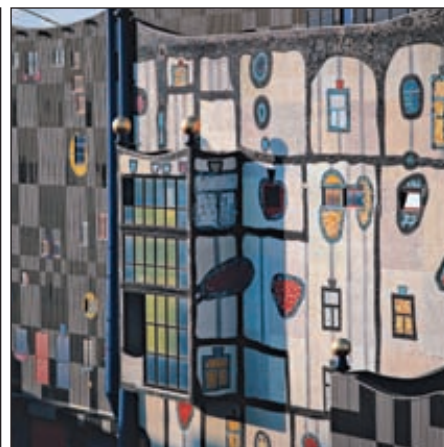
Преимущество газификации ТБО перед всеми прочими способами заключа-

ется в том, что выходными продуктами являются генераторная газовая смесь и минеральный шлак.

Пиролиз пиролизу рознь

Все высокотемпературные технологии переработки ТБО по технической сущности можно объединить в три группы.

До 450 °С. К первой группе относят технологии, в которых ТБО после сортировки или без предварительной сортировки подвергают пиролизу в барабанной печи с внешним обогревом (при 450 °С). В результате пиролиза происхо-



Мусоросжигательный завод Fernwärme Wien — одна из архитектурных достопримечательностей Вены. Теплостанция способна обеспечивать теплом 225 тыс. потребителей

дит распад отходов на пиролизный газ и углеродо-минеральный твердый остаток. Пиролизный газ сжигается в топке котла-утилизатора. Там же сжигается угольная составляющая твердого остатка, который после выхода из пиролизного барабана подвергается сепарированию с отделением металлов, стекла, бетона, керамики. Характерным представителем этой группы является технология SBV (Schwel — Brenn — Verfahren) концерна Siemens KWV.

450–600 °C. Во вторую группу входят технологии, в которых пиролиз (450–600 °C) не сепарированных ТБО дополнен газификацией твердого пиролизного остатка. Представителем такой технологии является процесс Noell (Германия) и Thermoselect (Италия, Швейцария). При газификации твердого угольного остатка используется кислород. Шлаковый остаток в технологии Noell представлен граншлаком, в технологии Thermoselect — смесью металла и шлака.

Свыше 1000 °C. К третьей группе относятся технологии высокотемпературного

пиролиза, в которых ТБО (предварительно сепарированные или без сепарирования) подвергаются термическому воздействию с температурой свыше 1000 °C. В этой группе представлены решения десятков зарубежных фирм и нескольких российских разработчиков. Высокотемпературный пиролиз обеспечивает глубокие превращения в минеральной субстанции ТБО и интенсивный распад органической субстанции с выходом большого количества свободного

Высокотемпературный пиролиз — наиболее эффективное средство борьбы с вторичным синтезом диоксинов и фуранов

водорода и легких углеводородов при одновременном снижении количества, практически до нуля, тяжелых углеводородов. Высокотемпературный пиролиз — наиболее эффективное средство

борьбы с вторичным синтезом полихлордибензодиоксинов.

Высокотемпературный пиролиз — наиболее эффективное средство борьбы с вторичным синтезом диоксинов и фуранов.

Газификация

Технология высокотемпературного пиролиза-газификации, как правило, состоит из 3-х стадий. На первой стадии осуществляется разделение (сепарирование) ТБО на органическую (горючую массу) и неорганическую субстанцию. Разделение осуществляется на специальном конвейере с применением грохотов для выделения крупных фрагментов; электро-магнитных улавливателей для извлечения лома черных металлов; вилчатых отборщиков для отбора пленки, текстиля, крупных фрагментов бумаги; воздушного раздува с отбором легкой (летучей) фракции; ручной разборки для извлечения из балласта цветного металла, сухих электрических элементов, фрагментов электронного оборудования, стеклобоя (если предусмотрена его утилизация).

В результате разделения ТБО на первой стадии процесса выделяется горючая масса следующего состава (% масс.):

- органическая субстанция 60–67 %
- физическая вода 30–35 %
- остаточная неорганическая субстанция 3–5 %.

Энергетический потенциал горючей массы составляет 2660–2970 ккал/кг, выход горючей массы из 1 т ТБО среднестатистической российской сборки — 82–84 %.

На второй стадии процесса осуществляется отдельная термическая обработка органической и неорганической субстанций в условиях пиролиза-газификации. При этом горючая масса поступательно перемещается по термоаппарату в одном направлении. Навстречу движению горючей массы перемещается высокотемпературный поток газа.



Электростанция Bayfront Power принадлежит компании Xcel Energy. Ее выходная мощность составляет 76 МВт. Раньше электростанция работала только на угле, но затем была переоборудована и сейчас способна перерабатывать также древесные отходы (опилки, щепы, древесная кора, железнодорожные шпалы) и автомобильные покрышки

В результате теплообмена температура горючей массы возрастает от 20 °С до 1300–1400 °С, а температура встречных газов уменьшается с 1600–1700 °С до 1000–1100 °С. В процессе теплообмена в горючей массе, во-первых, происходит полное обезвоживание; во-вторых, глубокий термический распад. Летучие продукты распада, смешиваясь с движущимися продуктами сгорания, выходят из термоаппарата. Твердый угольный остаток, нагретый до температуры 1300–1400 °С, попадает в топку, где сгорает с образованием высокотемпературных газовых продуктов (2000–2100 °С). Именно эти продукты сгорания движутся по термоаппарату навстречу потоку горючей массы и осуществляют пиролиз, и частично газификацию, так как имеет место интенсивный контакт CO₂, паров воды с аморфным углеродом обугленной горючей массы. Сверхвысокая температура в нижней точке топки сгорания углеродистого остатка позволяет превратить в минеральный расплав весь отселарированный балласт, а после слива расплава получить граншлак.

Третья стадия — дожиг газообразной субстанции, отходящей из термоаппарата. Это необходимо для окисления пиролизного газа, содержащегося в газовой субстанции. Дожиг может осуществляться как подачей воздуха, холодного или подогретого, так и кислорода. Из камеры дожига выходит теплоноситель с температурой 1600–1700 °С с теплоемкостью 2,0–2,1 Гкал в количестве 3,8–4,0 т на каждую тонну исходных ТБО.

Как извлечь ложку дегтя

В ТБО содержится до 166 видов вредных веществ неорганического происхождения и 119 видов веществ органического происхождения. Содержание неорганических вредных веществ в 1 т ТБО

Таблица 2. Размер ТБО, накапливающихся за год, и их энергетический потенциал в зависимости от численности населения

Население, (тыс. чел.)	Годовой выход ТБО, (тыс. т)	Средний энергетический потенциал, (Гкал/год)	Производство энергии (тепловая + электрическая)	
			Гкал/год	млн кВт/год
30	9–10	23 000	6 000	2,7
50	15–18	39 000	9 800	4,5
100	32–34	83 000	21 400	9,9
200	66–68	170 000	43 500	20,1
300	90–92	235 000	59 000	27,3
500	170–175	440 000	113 500	53,3
1000	340–350	880 000	227 700	107,0
1200	410–420	1 070 000	274 000	129,0
1500	520–530	1 350 000	346 000	163,0
2000	680–700	1 770 000	455 000	214,0

оценивается в 1,17–2,25 кг. Количество органических вредных веществ больше: от 9,72 до 10,3 кг в 1 т сухих ТБО. При температурах процесса пиролиз-газификация не могут сохраняться в неизменном виде органические соединения, включая полихлорированные диоксины и фураны. Правда, при остывании пиролизного газа и обратном прохождении температурного порога в смеси вновь формируются диоксины и фураны, но и эта проблема решена компаниями-разработчиками, хотя отдельные ноухау представляют из себя коммерческую тайну.

Что касается неорганических вредных веществ, то, попадая в топку с температурой 2000 °С, часть из них испаряется и конденсируется в специальных «ло-

вушках», предусмотренных в газоходах, или окисляется до термодинамически устойчивых оксидов, которые надежно связывают их в шлаке. Пыль улавливается в «мокрых» аппаратах с использованием щелочной среды, что кроме всего способствует улавливанию азотных соединений.

Человек/мусор/энергия

В таблице 2 представлены данные, характеризующие размер ТБО, накапливающихся за год и их энергетический потенциал в зависимости от численности населения. Так, при численности населения в 30 тыс. человек населенный пункт вырабатывает около 10 тыс. т мусора, что эквивалентно 6000 Гкал тепловой энергии и 2,7 млн кВт электрической энергии в год. А вот двухмиллионный город из своих 700 тыс. т мусора способен получить полмиллиона гигакалорий тепла и 214 млн кВт электроэнергии.

Теплоноситель, полученный при утилизации ТБО, может использоваться в любых тепловых процессах различной технологической направленности. Начальная расчетная температура теплоносителя составляет 1600–1700 °С. Конечная температура принимается исходя из требований технологического процесса.

Количество ТБО в городах с численностью населения от 30 до 200 тыс. человек достаточно, чтобы обеспечить эксплуатацию цементных заводов мощностью от 15 тыс. т до 130 тыс. т портландцемента в год или кирпичный завод мощностью от 10 до 80 млн штук кирпича в год. ■



Наполняя потребительский рынок товарами, современная экономика производит колоссальные объемы мусора