

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЕЧЕЙ СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ

*О. А. Власов, д. т. н., проф., Сибирский федеральный университет;
В. В. Мечев, заслуженный деятель науки России, д. т. н., проф., научный консультант,
научно-технологический центр «Экология Металлургия Энергетика» (ООО НТЦ «ЭКМЭН»)*

Проведен анализ технологий переработки ТБО термическим способом. Выделены три основных способа термической переработки ТБО: сжигание, пиролиз и газификация. Определено, что количество выделяемых токсичных веществ при сжигании мусора сильно зависит от температуры процесса, которая должна быть не менее 1300 °С.

У нас в стране в части обращения с отходами наиболее обсуждаемыми являются схемы сбора ТКО и их термической переработки.

Сбор мусора в том виде, в котором он реализуется в России, привлекает простыми решениями и дешевизной. Раздельный сбор находится у нас в зародышевом состоянии, и развитие его зависит от решения следующих задач: обеспечение населения контейнерами для раздельного сбора мусора и своевременный их вывоз, строительство специализированных мусоросортировочных заводов и, главное, заинтересованность населения в раздельном сборе мусора. Ни та, ни другая, ни третья задача пока не решены.

Термическая переработка мусора имеет большое количество противников по двум основным причинам: это экологическая опасность из-за выделяющихся вредных газов при сжигании отходов и высокая стои-

мость мусоросжигающих предприятий [1].

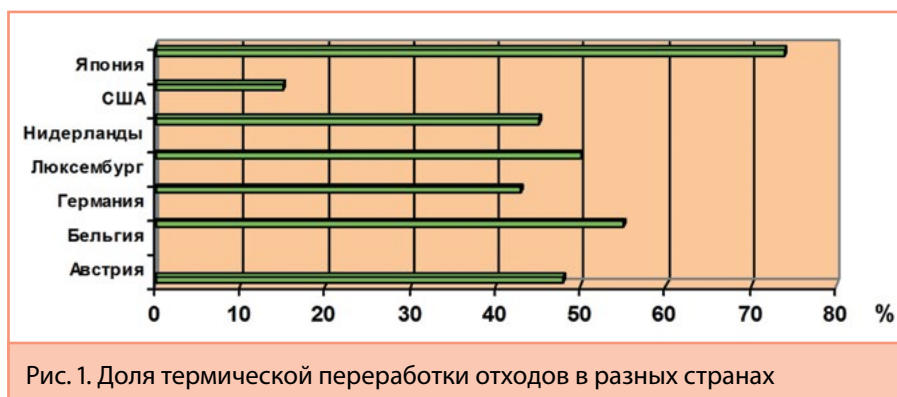
Да, действительно, если просто поджигать свалки, как это у нас часто делается, то вредных выбросов будет много. Но если грамотно сжигать ТКО на мусоросжигающих предприятиях с хорошей пылегазоочисткой, этого можно не бояться. Пример этому – мусоросжигающий завод с рестораном на дымовой трубе, построенный в центре Вены в 1990-х гг.

Очистные сооружения завода занимают более 2/3 его территории. Каждый год здесь уничтожается 250 тыс. т ТКО. Тепло, выделяемое при сжигании мусора, идет на отопление более 60 тыс. квартир. Таким образом, завод по переработке мусора решает сразу две проблемы: отопление жилых домов и экологичное уничтожение мусора, при этом Вена является одной из самых чистых столиц Европы. Во многих развитых странах (Австрия, Великобритания,

Венгрия, Германия, Дания, Испания, Италия, Люксембург, Нидерланды, Португалия, Россия, Сингапур, Словакия, Украина, Франция, Чехия, Швейцария, Швеция, Япония) мусоросжигающие предприятия расположены в столицах. В мире работает более 2500 МСЗ, утилизирующих около 200 млн т ТКО в год и вырабатывающих 130 ТВт·ч электроэнергии [2]. Доля термической переработки в разных странах (рис. 1) зависит от занимаемой страной площади и от возможности экспорта мусора [3].

В России основными источниками энергии являются газ и уголь, месторождения которых распределены по территории страны неравномерно. К тому же 60 % территории России находится в зоне холодного климата, и не стоит забывать, что запасы газа и угля на Земле не безграничны. А мусор как продукт жизнедеятельности человека – возобновляемый источник энергии, причем он концентрируется вблизи городов и населенных пунктов. В России по разным данным генерируется от 60 до 70 млн т мусора в год. При сжигании 1 т мусора вырабатывается от 720 кВт·ч электроэнергии и от 929 кВт·ч тепла [4], поэтому от сжигания 60–70 млн т ТКО в год можно получить 43,2–50,4 млн МВт·ч электроэнергии и 55,74–65,03 МВт·ч тепла.

На основе многочисленных опытов построен треугольник Таннера, устанавливающий связь между зольностью, влажностью, горючей частью



топлива и его способностью самостоятельно поддерживать горение. Анализ результатов (рис. 2) показывает, что топливо, имеющее более 60 % зольности, более 50 % влаги и менее 30 % горючей части, не способно самостоятельно поддерживать горение [5]. Если рассматривать отходы как твердое топливо, имеющее определенные зольность, влажность и горючую часть, то его можно либо использовать, добиваясь удовлетворения условий треугольника Таннера, либо поддерживать горение за счет использования дополнительного топлива, имеющего более высокую теплотворную способность, или подогретого дутья, или дутья, обогащенного кислородом.

Поскольку в ТКО, в отличие от традиционных топлив, присутствует также заведомо негорючая (неорганическая) часть, то соотношения, полученные в треугольнике Таннера, снижаются. Так, показано [6], что при средней температуре воспламенения $t_{восп} = 396\text{ }^{\circ}\text{C}$ с учетом доли неорганической части первичная влажность ТКО не должна превышать 5 % для менее теплотехнически совершенной установки без привлечения энергии извне. При удалении из ТКО неорганической части их первичная влажность может быть повышена до 40 %.

Таким образом, для увеличения теплотворной способности отходов требуется либо предварительная сортировка с отделением негорючей части, что зачастую предусматривается некоторыми технологиями термической переработки ТКО, либо можно применить старые, но эффективные способы – подогрев дутья или разбавление дутьевого воздуха кислородом. Многие считают использование кислорода при сжигании мусора дорогостоящим процессом, однако, не нужно забывать, что в воздухе содержится 78 % азота, который тащится как балласт через весь процесс сжигания мусора, и на его нагрев требуется дополнительное тепло. Применение кислорода снижает общий объем газов (воздуха + кислорода), используемых при сжигании мусора, тем самым позволяя повысить температуру при сжигании ТКО и при этом снизить объем газов, подаваемых на газоочистку, и, соответственно, разме-

ры газоочистных сооружений (напомним, система газоочистки МСЗ г. Вены занимает 2/3 площади предприятия). Получать электроэнергию для выработки кислорода можно за счет сжигания мусора, и ее будет достаточно и для получения кислорода, и для работы газоочистных сооружений. Действительно, расчеты, приведенные [3] для условий, где воздух для сжигания мусора обогащен кислородом до 40 %, показывают, что в этом случае потребуется 95 нм^3 кислорода на 1 т сжигаемых ТКО (исходя из затрат электроэнергии на современных кислородных станциях 0,5 кВт·ч на получение 1 нм^3 кислорода). На получение 95 нм^3 кислорода потребуется около 48 кВт·ч, а от сжигания 1 т ТБО можно получить 726 кВт·ч электроэнергии. Кроме того, температура в печи сжигания мусора при использовании кислорода будет не ниже 1400 $^{\circ}\text{C}$. Конечно, использование кислорода при переработке мусора увеличит стоимость процесса, однако, снижение размеров газоочистных сооружений за счет применения кислорода и уменьшение концентрации вредных веществ в отходящих газах при температурах выше 1300 $^{\circ}\text{C}$ компенсируют этот недостаток.

Наиболее сильным канцерогеном является 2,3,7,8 ТХДД (тетра-хлордибензодоксин). В ТКО он может попадать с отходами бытовой химии, а также синтезироваться из хлорсодержащих ароматических продуктов при гниении, тлении или прямом сгорании ТКО (на полигонах и особенно на несанкционированных свалках).

Низкотемпературное сжигание ТКО на мусоросжигающих заводах, где переведенный в жидкое или газообразное состояние ТХДД при охлаждении полностью восстанавливается, является главным источником диоксинов в окружающей среде. Термохимия диоксинов изучена достаточно полно благодаря фундаментальным работам, в основном американских и японских ученых. Как показали исследования, состав выделяющейся при сжигании отходов газовой фазы является безопасным, если температура процесса не менее 1300 $^{\circ}\text{C}$ [7]. Именно эта температура принимается за минимальную температуру сжигания при проектирова-

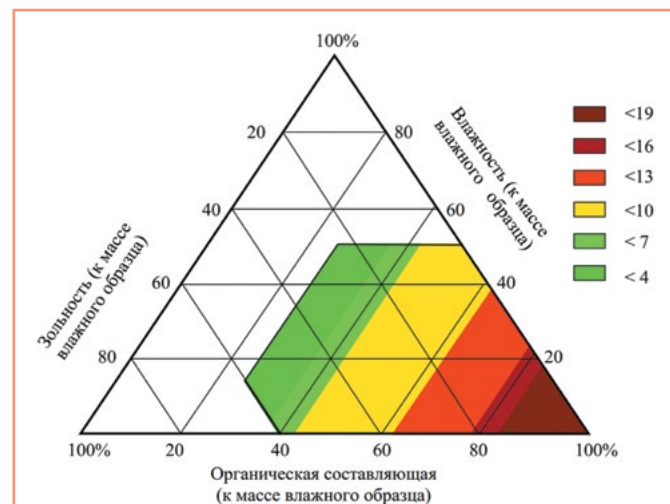


Рис. 2. Треугольник Таннера

нии мусоросжигающих заводов за рубежом. Воздух из помещений для хранения мусора подается непосредственно в дутьевые фурмы печей сжигания, что позволяет его обеззаразить. В газоочистных сооружениях используется известь для удаления хлора, серы; сложные соединения удаляются с помощью активированного угля.

Косновным способом термической переработки ТКО можно отнести сжигание, пиролиз и газификацию.

Сжигание – часто применяемый способ утилизации ТКО. Конечные продукты сжигания – зола, а также значительные объемы бензапиренов и диоксинов, которые выбрасываются в окружающую среду. С учетом этого эффективная (экологически безопасная) утилизация должна строиться не на простом сжигании, а на глубокой переработке с промежуточной нейтрализацией компонентов. Реализацией таких способов занимались европейские фирмы Steinmuller, Noell, Von Roll, Martin GMBH, CNIM, использующие сжигание на решетке (а также сжигание во вращающихся печах, которое практически не применяется).

Пиролиз – разложение органического вещества на менее тяжелые молекулы под действием повышения температуры без доступа кислорода. Сырьем для пиролиза могут служить коммунальные, промышленные и сельскохозяйственные отходы, уголь и др. Недостаток способа – получение

Сравнительный анализ технологий термической переработки ТБО [2, 9, 10]

Показатель	Способ				
	Сжигание	Пиролиз и термическое разложение ТБО без доступа кислорода	Обычная газификация	Плазменная газификация с использованием воздушной плазмы	Переработка отходов в печах шлакового расплава*
Разрушение органической части, фуранов, диоксинов	Разрушение 70 % (650–1050 °С)	Разрушение 90 % (450–900 °С)	Разрушение 90 % (800–1150 °С)	Полное разрушение (2000 °С)	Полное разрушение (1300–1650 °С)
Образование смол и фуранов	Много смол и фуранов	Есть смолы и фураны	Есть смолы и фураны	Нет смол и фуранов	Нет смол и фуранов
Образование золы	30 % токсичной смолы	10 % золы	10 % золы	Нет золы	0,15 % золы в оборот
Виды отходов, пригодные к переработке	Кроме отдельных видов неорганических отходов	Кроме отдельных видов неорганических отходов	Кроме отдельных видов неорганических отходов	Любой вид отходов	Любой вид отходов
Необходимость предварительной сортировки отходов	Требуется сортировка отходов	Требуется однородного состава ТКО в течение года	Требуется сортировка отходов	Не требуется сортировка отходов	Не требуется сортировка отходов
Перерабатываемый объем	Большой объем отходов до 500 т/сут	Объем отходов в пиролизных установках до 30 т/сут	Объем отходов до 250 т/сут	Объем отходов до 110 т/сут	Объем отходов до 330 т/сут (проект)
Уровень выбросов газов при условной мощности 120 тыс. ТКО/год	Высокие выбросы дымовых газов до 60 тыс. нм ³ /ч	Для сравнения нет установок на данную производительность	Выбросы дымовых газов – 50 тыс. нм ³ /ч	Данных нет	Выбросы газов – 30 тыс. нм ³ /ч.
Чувствительность к влажности отходов	Чувствителен к влажности отходов	Влажность отходов около 20 % при удалении неорганической части до 40 %	Влажность отходов до 50% при низком уровне неорганической части	Не чувствителен к влажности отходов	Не чувствителен к влажности отходов
Качество получаемого синтез-газа	Генераторный газ (технический)	Забалластрированный синтез-газ	Генераторный газ (технический)	Высокое качество получаемого синтез-газа	Генераторный газ (технический)
Продукты на выходе	Тепло, электроэнергия	Синтез-газ, жидкие виды топлива, электроэнергия, тепло	Тепло, электроэнергия	Синтез-газ, жидкие виды топлива, электроэнергия, тепло	Синтез-газ, электроэнергия, тепло, плавленные шлаки

* По данным института ГИИЦВЕТМЕТ

твердого продукта, требующего дополнительной переработки. Способ реализован в США в штатах Мериленд, Нью-Йорк, Вирджиния фирмами «Юнион Карбайд» и «Монсанто», где разработаны методы Ландгарда, Торакса, Пьюрокса; в Германии и Австралии – компанией Ener-Core, и т. д. Конечные продукты – синтетическое топливо, синтез-газ, тепло, электроэнергия.

Газификация – преобразование органической части биомассы в горючие газы при высокотемпературном нагреве с окислителем (воздух и водяной пар), с получением на выходе газообразного энергоносителя – синтез-газа. Процесс газификации включает пиролиз как стадию процесса, поэтому генераторная газовая смесь состоит из пиролизного и генераторного газов. По этой причине многие используют двухстадийную схему сжигания, то есть пиролиз при низкой температуре и высокотемпе-

ратурное дожигание полученных газов. При этом получают электроэнергию, тепло и шлаки, которые могут быть применены в строительстве. Например, заводы, использующие эту схему, работают в японском округе Кусиро (компания Mitsubishi Heavy Industries) и в ряде китайских городов – Гуанчжоу, Шанхае, Тианджине (компания Hubei Yichang Jiutian Environmental Technology Co., Ltd. P.R.China).

Плазменная газификация – переработка отходов в струе воздушной плазмы при температуре до 2000 °С. Разработка этой технологии проводилась в России, Израиле, Японии. К недостаткам можно отнести необходимость наличия футеровки в области горения плазмы, которая должна выдерживать высокие температуры [8]. Кроме того, требуются большие капиталовложения. Реализация проекта, рассчитанного на мощность 110 т ТБО/сут осуществлена японской компанией Eсо

Valley в г. Утасинай на острове Хоккайдо. Конечные продукты – электроэнергия, тепло, синтез-газ.

Газификация ТБО в печах шлакового расплава. Технология разработана в России. В 1980-х гг. в Рязани на опытный завод в печи шлакового расплава проведены опытно-промышленные технологические испытания, которые дали положительный результат. Были намечены пути реализации этой технологии, однако развал СССР и прекращение работы опытной печи шлакового расплава помешали продолжить начатые работы, хотя работа печей такого типа на других предприятиях России (Норильск, Ревда, Кольский полуостров) и ближнего зарубежья показала их высокую надежность и производительность.

Сравнительные характеристики различных технологий переработки ТБО показаны в таблице

Анализ приведенных данных показывает, что наименее выгодной явля-

ется технология сжигания – хотя и наиболее дешевая, но создающая большое количество вторичных отходов, требующих дополнительной переработки или захоронения, и выбросы токсичных веществ; технология требует предварительной сортировки отходов и снижения их влажности. Указанные недостатки – следствие низкой температуры сжигания – 650 °С. Реализация такого способа будет характеризоваться высокими капиталовложениями в пылегазоочистку для снижения выбросов вредных веществ атмосферу.

Пиролиз и обычная газификация имеют примерно одинаковые показатели, что можно объяснить близкими температурами переработки. Они обладают более высокими показателями по сравнению со сжиганием, однако чувствительны к влажности отходов и требуют предварительной сортировки либо усреднения состава.

Наилучшими показателями обладают два последних способа: плазменная газификация и переработка отходов в печах шлакового расплава. Они характеризуются высокими (более 1300 °С) температурами переработки, образуют жидкие шлаки, что немаловажно для их дальнейшей переработки [11]. Однако пугает сложность аппаратного оформления в первом случае и использование кислорода во втором (хотя получение кислорода в современных условиях – не такая уж сложная и дорогая задача, имеются компактные и недорогие кислородные станции, в том числе отечественного производства).

Развиваемые во всем мире экотехнопарки нацелены на комплексную переработку отходов [12], в рамках которой сочетаются получение из отходов электроэнергии и тепла (дающих возможность функционировать остальным звеньям экотехнопарка), товарных продуктов и очистка хозяйственно-бытовых и поверхностных стоков для дальнейшего использования в процессе производства. Введение в эту цепочку печи шлакового расплава позволит широко использовать ее как на стадии получения тепла и электроэнергии [13], так и на стадии переработки шлаков с получением строительных материалов [11]. ♻️

ЛИТЕРАТУРА

1. Шубов А.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. Коротко и популярно о ТКО: сигнал SOS. // ТБО. – 2017. – № 2. С. 45–47.
2. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России // Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. – 2012. – 40 с.
3. Пронина О.С. Технологические аспекты использования ТБО в теплоснабжении. // Новости теплоснабжения. № 2(90), 2008. – С. 31–35.
4. Власов О.А., Мечев В.В., Мечев П.В. Рециклинг ТБО в печи шлакового расплава. / ТБО. 2015. – № 11. – С. 19–21.
5. Самылин А., Яшин М. Современные конструкции газогенераторных установок // ЛесПромИнформ. – № 1 (59) – 2009. – С. 78–85.
6. Горинов О.И., Горбунов В.А., Колибаба О.Б., Самышина О.В. Влияние теплофизических свойств твердых бытовых отходов на температурный режим термической переработки. // Вестник ИГЭУ. – Вып. 2. – 2010. – С. 1–3.
7. Научно-технические основы термической утилизации твердых бытовых отходов (Краткий реферат заключительного отчета НИР) // Красноярск: КФ ВНИИСтром, 2002. – 65 с.
8. Бернадинер М.Н., Бернадинер И.М. Высокотемпературная обработка отходов. Плазменные источники энергии // ТБО. – 2011. – № 4. – С. 16–19.
9. Ростехнологии. Завод по безотходной экологически безопасной переработке твердых бытовых и промышленных отходов в печи Ванюкова. Электронный ресурс <http://yandex.ru/clck/jsredir?from=yandex.ru%3Bsearch%2F%3Bweb%3B%3B&text=&etext=1459>.
10. Мечев В.В., Власов О.А., Мечев П.В. Термическая переработка углей, бытовых и промышленных отходов с получением электроэнергии и товарных продуктов. Москва – 2012 – 344 с. ISBN 978-5-4465-0011-6
11. Власов О. А., Мечев В. В. Использование продуктов от сжигания ТКО в шлаковом расплаве. / ТБО. – 2017. – № 2. – С. 25–29.
12. Марьев В. А., Смирнова Т. С. Факторы успеха экотехнопарков в мире. / ТБО. 2017. – № 2. – С. 14–17.
13. Мечев В.В., Власов О.А. Реконструкция ТЭЦ, ТЭС и ГРЭС для переработки ТБО / ТБО. – 2013. – № 4. – С. 27–30.