



УДК 628.4

Барышева Ольга Борисовна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: obbars@mail.ru

Садыков Ренат Ахатович

доктор технических наук, профессор

E-mail: sadykov_r_a@mail.ru

Хабибуллин Юрий Хакимович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: a0an@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Таймаров Михаил Александрович

доктор технических наук, профессор

E-mail: taimarovma@yandex.ru

Казанский государственный энергетический университет

Адрес организации: 420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51

Высокотемпературная переработка твердых бытовых отходов

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявление достоинств и недостатков в современных методах переработки и утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) с перспективой разработки и создания устройства для утилизации ТБО с учетом современных подходов к энергосбережению и защите окружающей среды.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в создании простого, надежного и технически обоснованного способа уничтожения ТБО с получением дополнительного количества энергии.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в создании устройства по ликвидации ТБО с получением твердых продуктов сгорания и дальнейшим использованием в качестве строительных составов и изделий различного назначения. В результате технологического процесса переработки ТБО появляется возможность возвращения для повторного использования образующегося дополнительного количества энергии.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, энергосбережение, охрана окружающей среды, получение строительных материалов, установка для утилизации ТБО.

Введение

В настоящее время переработка и утилизация твердых бытовых отходов (ТБО) стала более актуальной как в нашей стране, так и в мире в целом.

В основном эта проблема касается крупных городов и мегаполисов, где ежегодно образуются миллионы тонн всевозможных фракций бытовых отходов.

Сейчас в России накоплено от 25 до 98 млрд. тонн ТБО при ежегодном приросте ~65 млн. тонн. Причем эти цифры касаются только санкционированных полигонов ТБО.

Утилизация или переработка ТБО – это проблема экологическая, но она связана с решением сложных технических, энергетических и экономических задач.

Методы переработки и утилизации ТБО

Перспективным методом переработки ТБО является разделение и переработка всех компонентов отходов и последующее их использование в народном хозяйстве. Для реализации этого плана имеется два подхода [1, 2].

Первый подход – строительство мусороперерабатывающего завода. На входе этого комплекса должна быть предусмотрена площадка для неразобранной массы твердых бытовых отходов. На выходе – отсортированные материалы, которые могут быть

вторично использованы. Но такой подход считается идеальным и в современных условиях нереализуем [3].

Конечно, можно разделить поток отходов с помощью робототехники, но такой процесс окажется не окупаемым, а значит и неприемлемым.

Второй подход – это способ раздельной утилизации ТБО в источниках возникновения. Этот подход наиболее часто применяется в развитых странах. Здесь в селитебных зонах устанавливаются баки со специальной отметкой различных цветов: для пластика, бумаги, стекла, металла, органики и т.д. В идеале отходы должны разделяться самим населением или сотрудниками учреждений, производящих отходы.

Среднестатистический состав ТБО [4, 5] представлен в табл. 1.

Таблица 1

Среднестатистический состав ТБО

Наименование	Состав, %
Полимеры: ПВХ, полиэтилен, полипропилен	50
Пищевые отходы	25
Бумага, древесина,	10
Резина, металл, текстиль	15-20

Среди методов ликвидации отходов в настоящее время первое место принадлежит полигонам ТБО, на которые вывозят основную часть отходов. Однако отходы по своему токсикологическому действию относятся к высокоопасным и чрезвычайно опасным. Поэтому площадки, где они складываются, наносят колоссальный вред окружающей среде, а именно, результатом является сильное загрязнение, как поверхности земли, так и грунтов глубиной до 20 метров, а также подземных вод [6].

В европейских странах некоторые полигоны используют для преобразования биогаз, который образуется в процессе гниения отходов в возобновляемые источники энергии.

Стадии преобразования ТБО в биогаз представлены в табл. 2.

Таблица 2

Стадии преобразования ТБО в биогаз

Наименование	Продолжительность	Результат
I – аэробная стадия	от нескольких недель до нескольких месяцев	активизируется деятельность бактерий, которые потребляют кислород.
II – анаэробная стадия	до нескольких месяцев	начинает проявляться деятельность микроорганизмов, существующих в среде с минимальным количеством кислорода, происходит изменение физико-химического состава ТБО и образование органических кислот.
III – анаэробная нестабильная метановая стадия	до одного года	активизируется деятельность бактерий, образующих метан CH_4 .
IV – анаэробная стабильная метановая стадия	до нескольких десятилетий	в процесс вступают микроорганизмы, разлагающие органическую составляющую ТБО без доступа воздуха до таких составляющих как, метан – CH_4 , двуокись углерода – CO_2 , вода – H_2O .

Теплота сгорания биогаза дает возможность применения его в энергетическом комплексе. При разложении одной тонны ТБО выделяется ~260 м³ биогаза.

В результате разложения отходов образуется горючая газовая смесь, состоящая примерно из 60 % метана CH_4 , 35 % двуокиси углерода CO_2 и 5 % азота N_2 .

Особенно опасными с экологической точки зрения становятся неорганизованные свалки, т.к. в них горючая газовая смесь поступает в атмосферу, вытесняя из почвы кислород O_2 , и препятствует росту растений. Неорганизованная свалка является пожароопасной.

Для осуществления второго способа переработки ТБО необходимо на выбранной площадке выкопать котлован. Далее, этот котлован надо изолировать от почвы и проложить трубопроводы для выхода биогаза из мусорного массива для его дальнейшего использования в теплоэнергетике (отопление, выработка электроэнергии).

Третьим подходом является переработка ТБО в органическое удобрение (компост). Данный процесс обезвреживания и переработки происходит за счет саморазогрева ТБО, в результате развития в аэробных условиях теплолюбивых микроорганизмов при достаточном количестве кислорода O_2 .

В ходе химико-биологических реакций ТБО саморазогревается до температуры 60-70 °С. Эта температура губительна для болезнетворных бактерий, таким образом, обеспечивается обезвреживание отходов. При перемешивании материала получается наилучший контакт между органическим веществом и микроорганизмами. Сложные органические соединения разлагаются с образованием форм, которые легко усваиваются растениями (компост). Далее ферментная масса биоразлагаемого материала уменьшается вдвое и получается твердый стабилизированный продукт. Однако прямое компостирование ТБО нецелесообразно, т.к. получаемое удобрение загрязнено тяжелыми металлами и стеклом (электронный мусор – компьютеры, телевизоры, мобильные телефоны и т.д., осветительные лампы, отработанные гальванические элементы). Для этого требуется тщательная сортировка отходов, что экономически не всегда целесообразно.

Четвертый подход – это сжигание ТБО. В большинстве случаев – это наиболее целесообразный метод утилизации ТБО.

Отходы состоят из разнохарактерных по теплоте сгорания и разновеликих частиц, средняя теплота сгорания которых зависит от внешних параметров: температуры, давления, влажности. Средняя теплота сгорания ТБО составляет ~8000 кДж/кг [7]. При сжигании ТБО расходуется большое количество кислорода O_2 , которое значительно увеличивается при увеличении содержания в отходах материалов из пластмассы. Преимущества и недостатки сжигания ТБО приведены в табл. 3.

Таблица 3

Термоутилизация ТБО

Преимущества сжигания ТБО	Недостатки сжигания ТБО
Сокращение объемов ТБО более чем на порядок.	Опасность загрязнения почвы вредными выбросами.
Надежное обезвреживание.	Опасность загрязнения атмосферы вредными выбросами.
Снижение риска загрязнения окружающей среды.	Значительная (15-25 %) доля образовавшихся шлаков.
Возможность получения дополнительной энергии.	Уничтожение ценных компонентов ТБО.

Канцерогены

Следует отметить, что при сжигании ТБО в атмосферу выделяется хлористый и фтористый водород, сернистый газ, оксиды азота, а также металлы и их соединения, в основном виде аэрозолей [8, 9]. При сжигании отходов, содержащих синтетические полимерные материалы, образуются диоксины (рис. 1) и фураны (рис. 2). Диоксины – так называют группу веществ, основу молекул которых составляют шестигранные углеродные кольца. Если в них нет атомов хлора, то эти вещества токсичны не более, чем бензин, однако при замещении в кольцах атомов водорода на атомы хлора образуются опасные диоксины – всего примерно двадцать соединений разной степени токсичности [10].

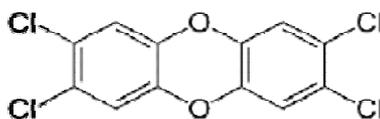


Рис. 1. Структурная формула 2,3,7,8-тетрахлордibenzo-пара-диоксина (иллюстрация авторов)

На рис. 1 показана молекула 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-пара-диоксина – одного из более токсичных хлорпроизводных дibenзо[b,e]-1,4-диоксина.

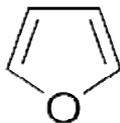


Рис. 2. Структурная формула фурана (иллюстрация авторов)

Группа фуранов менее токсична, чем диоксиновая группа, но и те, и другие являются канцерогенами.

Существует масса неконтролируемых источников выбросов диоксинов и фуранов – это горящие свалки и костры, в которых сжигаются, в том числе, и полимерные материалы. Температура их горения невелика – до 600 °С. При таком режиме образуется в десятки раз больше диоксинов и фуранов, чем на мусоросжигательных заводах, где используется высокотемпературный процесс (свыше 1000 °С).

Диоксины – токсичные и канцерогенные вещества, синтезированные человеком, поэтому предварительная сортировка отходов перед их сжиганием является необходимой. Одной из разновидностей процесса сжигания является пиролиз – это термическое разложение ТБО без доступа воздуха. В результате этого процесса получают горячий газ, жидкие продукты и твердый углеродистый остаток.

В зависимости от температуры различают следующие виды пиролиза: низкотемпературный пиролиз (до 500 °С), при котором выход жидких продуктов и твердого остатка максимален, а выход горючего газа минимален; среднетемпературный пиролиз (500-1000 °С). При таком пиролизе выход горячего газа увеличивается, а выход жидких продуктов и твердого остатка уменьшается; высокотемпературный пиролиз (более 1000 °С), при котором выход жидких продуктов и твердого остатка минимален, а выход горючего газа – максимален.

Пиролиз дает возможность не только утилизировать бытовые отходы, но и получать ценные углеводороды нефтяного ряда. Вследствие этого сокращаются расходы на переработку ТБО.

К недостаткам пиролиза можно отнести: сложность конструкции и высокую стоимость печей; большой обслуживающий персонал; неполный распад диоксинов по окончании процесса; тяжелые металлы не плавятся, а выпадают в осадок вместе со шламом.

В настоящее время делается ставка на технологии не только по сжиганию ТБО, но и превращению выделяемого при этом тепла в энергию.

Считается [11, 12], что уже в ближайшее время сжигание с выработкой электрической и тепловой энергии будет основным способом переработки отходов. В будущем мусоросжигательные энергетические установки войдут в интегрированную систему управления отходами вместе с предприятиями по утилизации и вторичному использованию некоторых материалов (металла, стекла, пластика, бумаги и т.д.).

Наряду с этим требуется совершенствование методов очистки образующихся отходящих газов.

Известны различные схемы сжигания ТБО [13, 14]. Основным недостатком всех этих устройств является низкая степень очистки образующихся вредных выбросов, а также невысокая экономическая эффективность процесса.

Описание установки с усовершенствованной системой очистки вредных выбросов

Разработана установка с усовершенствованной системой очистки вредных выбросов с целью повышения экономической эффективности процесса [15]. Установка для высокотемпературной переработки ТБО показана на рис. 3.

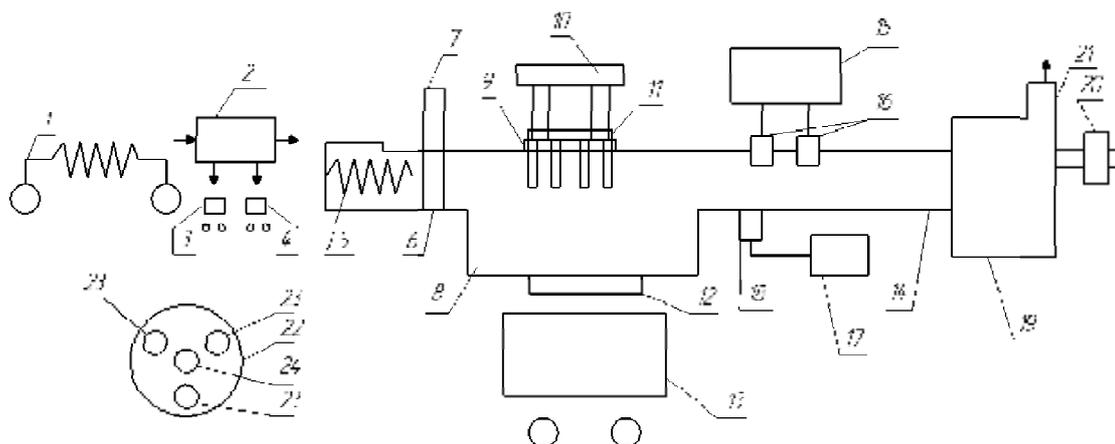


Рис. 3. Схема установки для высокотемпературной переработки твердых бытовых отходов:
 1 – транспортер; 2 – сепаратор-металлоотделитель; 3, 4 – контейнеры; 5 – шнек; 6 – люк загрузки;
 7 – заслонка; 8 – топочная камера; 9 – блок электродов; 10 – трехфазный источник питания;
 11 – активатор дуги; 12 – люк; 13 – контейнер для твердых продуктов переработки;
 14 – дожигатель; 15 – высоковольтный блок питания; 16 – свечи зажигания; 17 – озонатор;
 18 – сопло для подачи озона; 19 – котел-утилизатор; 20 – турбогенератор; 21 – вытяжная труба;
 22 – корпус блока электродов; 23 – электроды; 24 – центральный электрод (иллюстрация авторов)

Установка для высокотемпературной переработки ТБО работает следующим образом.

По транспортеру 1 отходы проходят через сепаратор-металлоотделитель 2. В нем черный металл отделяется и попадает в контейнеры 3 и 4. Отходы, отделенные от металла шнеком 5, через люк загрузки 6 перекрываются заслонкой 7. В топочной камере 8 размещен блок электродов 9, на который подается электропитание от трехфазного источника питания 10. Сам блок электродов 9 включает в себя цилиндрический корпус 22, электроды 23 и центральный электрод 24.

Каждый из электродов 23, расположенный по периферии корпуса 22 блока электродов цилиндрической формы, подключен к одной фазе источника питания 10, а центральный электрод 24, подключенный к нулевому проводу, имеет длину на один диаметр больше остальных электродов, за счет чего увеличивается зона горения электрических дуг. Все электроды имеют одинаковый диаметр.

При использовании трехфазного электрического тока наблюдается переменное воздействие давления электрических дуг на сгораемые отходы при температурах 1500-1800 °С, что вызывает энергичное вращение и перемешивание расплавляемых минеральных составляющих, более полное протекание реакций и освобождение минерального остатка от газов. Использование трехфазной дуги вместо однофазной дает экономию электроэнергии до 35-40 %. Возбуждение электрических дуг производится от активатора 11.

Выгрузка твердых продуктов сгорания производится через люк 12 в контейнер 13. Твердые продукты сгорания могут быть успешно переработаны по различным направлениям. Остекловывание золы с использованием плазменных технологий позволяет получать искусственный песок для наполнения дорожных покрытий. Зола также может быть использована для получения керамических и бетонных изделий строительного назначения.

Выходящие из топочной камеры 8 газообразные продукты поступают в дожигатель 14, где происходит их воспламенение и нейтрализация от свечей зажигания 16, питаемых высоковольтным блоком 15.

Для интенсификации процесса нейтрализации газов в дожигатель 14 от озонатора 17 через сопло 18 подается озон. Нейтрализованные газообразные продукты сгорания поступают в котел-утилизатор 19. Полученный в нем пар направляется в турбогенератор 20 для производства электроэнергии. Нейтрализованные и охлажденные газообразные продукты поступают в атмосферу через вытяжную трубу 21.

Заключение

Твердые отходы, полученные при сжигании ТБО, могут быть полностью утилизированы, в частности, предложены для внесения в качестве добавок в дорожные покрытия и в керамические, и бетонные изделия. Также возможно получение дополнительной прибыли за счет превращения образующегося тепла в электроэнергию.

На разработанное устройство получен патент на изобретение [15].

Список библиографических ссылок

1. Гонопольский Л. М. Управление потоками отходов. М. : ВЕСИ, 2015. 463 с.
2. Соколов В. И. Сбор и переработка твердых коммунальных отходов. М. : Инфра-Инженерия, 2017. 176 с.
3. Мамин Р. Г., Ветрова Т. П., Шилова Л. А. Инновационные механизмы управления отходами. М. : МГСУ, 2018. 138 с.
4. Коробко В. И., Бычкова В. А. ТБО. Экономика, экология, предпринимательство. М. : Юнита-Дана, 2014. 132 с.
5. Balcan E. The dirty truth about China's incinerators // The Gurdian. 2012.
6. Humes E. Garbology: Our Dirty Love Affair with Trash. М. : OZON, 2012. 356 p.
7. Венгерский А. Д., Бугаев В. В. Технология сжигания ТБО : сб. ст. III Международной научной конференции – Технические науки: традиции и инновации / Казань, 2018. С. 103–106.
8. Осипова Л. Э., Дьяконов Г. С., Теляков Э. Ш. Химически стойкие стеклопластики как средство повышения безопасности и эффективности оборудования сернокислотных производств // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 23. С. 305–311.
9. Осипов Э. В., Нурман А. Снижение потерь легких углеводородов в резервуарных парках // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 9. С. 157–159.
10. Chapman J. L. Ecology. Cambridge : Cambridge University Press, 2009. 336 p.
11. Картамышева Е. С., Иванченко Д. С. Новые технологии переработки отходов в современном мире // Молодой ученый. 2017. № 1. С. 115–118.
12. Bendix D. Development of thermal sprayed layers for high temperature areas in waste incineration plants // Materials and Corrosion. Vol. 59. 2008. P. 389–392.
13. Сагдеева Г. С., Петракова Г. Р. Переработка отходов производства и потребления с использованием их ресурсного потенциала // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 6. С. 194–198.
14. Salvador L. Camacho. Plasma pyrolysis of hydrocarbon wastes / IENCE Technical Conference at Wadham College. Oxford, 1990.
15. Установка для высокотемпературной переработки твердых бытовых отходов : пат. 2669316 Рос. Федерация. № 2017134227 ; заявл. 02.10.2017 ; опублик. 10.10.2018.

Barysheva Olga Borisovna

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: obbars@mail.ru

Sadykov Renat Akhatovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: sadykov_r_a@mail.ru

Khabibullin Yuri Khakimovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: a0an@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Taimarov Mikhail Alexandrovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: taimarovma@yandex.ru

Kazan State Power Engineering University

The organization address: 420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya st., 51

High-temperature processing of municipal solid waste

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the advantages and disadvantages of modern methods of processing and disposal of solid waste (SW) with the prospect of developing and creating a device for recycling SW taking into account modern approaches to energy saving and environmental protection.

Results. The main results of the study are to create a simple, reliable and technically sound method of SW destruction to obtain additional energy.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is to create a device for the disposal of solid waste with the production of solid combustion products and further use as building materials and products for various purposes. As a result of the technological process of processing MSW, it becomes possible to return for the reuse of the resulting additional amount of energy.

Keywords: solid domestic waste, energy saving, environmental protection, production of building materials, installation for solid waste disposal.

References

1. Gonopol'sky L. M. Waste management. M. : VESI, 2015. 463 p.
2. Sokolov V. I. Collection and processing of municipal solid waste. M. : Infra-Ingenieriya, 2017. 176 p.
3. Mamin R. G., Vetrova T. P., Shilova L. A. Innovative mechanisms of waste management. M. : MGSU, 2018. 138 p.
4. Korobko V. I., Bychkova V. A., SW. Economics, ecology, entrepreneurship. M. : Unita-Dana, 2014. 132 p.
5. Balcan E. The dirty truth about China's incinerators // The Gurdian. 2012.
6. Humes E. Garbology: Our Dirty Love Affair with Trash. M. : OZON, 2012. 356 p.
7. Vengersky A. D., Bugaev V. V. Solid waste incineration technology : dig. of art. III International scientific conference – Technical Sciences: traditions and innovations / Kazan, 2018. P. 103–106.
8. Osipova L. E., Dyakonov G. S., Telyakov E. Sh. Chemically resistant fiberglass as a means of improving the safety and efficiency of equipment for sulfuric acid production // Vestnik Kazanskogo Technologicheskogo Universiteta. 2015. № 23. P. 305–311.
9. Osipov E. V., Nurman A. Reduction of losses of light hydrocarbons in the reservoirs // Vestnik Kazanskogo Technologicheskogo Universiteta. 2015. № 9. P. 157–159.
10. Chapman J. L. Ecology. Cambridge : Cambridge University Press, 2009. 336 p.
11. Kartamysheva E. S., Ivanchenko D. S. New technologies of waste processing in the modern world // Molodoy ucheny. 2017. № 1. P. 115–118.
12. Bendix D. Development of thermal spraed layers for high temperature arears in waste incineration plants // Materials and Corrosion. Vol. 59. 2008. P. 389–392.
13. Sagdeeva, G. S., Petrakova G. R. Recycling of waste production and consumption with the use of their resource potential // Vestnik Kazanskogo technologicheskogo universiteta. 2014. № 6. P. 194–198.
14. Salvador L. Camacho. Plasma pyrolysis of hydrocarbon wastes / IENCE Technical Conference at Wadham College. Oxford, 1990.
15. Installation for high-temperature processing of municipal solid waste : patent 2669316 of the Rus. Federation. № 2017134227 ; decl. 02.10.2017 ; publ. 10.10.2018.