



ОСНОВНЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Одной из главных насущных проблем нашей страны является использование промышленных и коммунальных отходов, то есть максимальное использование вторичных ресурсов. Данная работа посвящена вопросам исследования технологий переработки и утилизации твердых коммунальных отходов, необходимых для уничтожения мусора. В работе представлены основные и перспективные методы утилизации отходов, а также показана зависимость содержания диоксинов в дымовых газах от выбранной технологии сжигания.

Твердые коммунальные отходы, технологии переработки отходов, диоксины, классы опасности отходов, термическое обезвреживание.

Главной задачей переработки промышленных и коммунальных отходов является оздоровление окружающей среды, резкое снижение ее загрязнения и мутации путем переработки любых отходов по безотходным экологически чистым технологиям с выпуском высокоценной продукции.

Призывы к борьбе с отходами практически ничего не дают: количество их, например, в нашей стране продолжает увеличиваться на 4 млрд т ежегодно, загрязнение окружающей среды резко возрастает, дефицит кислорода в атмосфере достиг 10 %, растут мутации и болезни человека. Так, в мире только в 2012 г. от загрязнения атмосферы погибло около 7 млн человек.

В настоящее время в нашей стране отходы составляют около 90 % от всех добываемых природных ресурсов, т.е. промышленность работает в основном на производство отходов. Накопилось уже 8 млрд м³ промышленных и коммунальных отходов. Полигоны заполнены в среднем по стране на 50–90 % [6].

Отходы производства и потребления – это остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, образовавшихся в процессе производства и потребления, продукция, которая абсолютно не утратила свои потребительские свойства [2].

Отходы могут быть самыми разными. Промышленные отходы (или отходы производства) – это остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшиеся при производстве продукции или выполнении работ и не утратившие свои потребительские свойства. Твердые коммунальные отходы – твердые вещества, не утилизируемые в быту, образующиеся в результате амортизации предметов быта в жизни людей. По фазовому составу отходы могут быть твердыми, жидкими и газообразными (рис. 1) [3].

Существует пять классов опасности: от чрезвычайно опасных (1 класс) до практически безопасных (5 класс) (табл. 1).

Таблица 1

**Классификация опасности отходов
по степени их вредного воздействия на окружающую среду**

Класс опасности отходов	Показатель степени опасности, K^*	Характер разрушения экосистемы**	Прогноз восстановления экосистемы
I класс – чрезвычайно опасные	$10^6 \geq K > 10^4$	Необратимо нарушена	В обозримом будущем не рассматривается
II класс – высокоопасные	$10^4 \geq K \geq 10^3$	Сильно нарушена	Период восстановления более 30 лет после устранения источника вредного воздействия
III класс – умеренно опасные	$10^3 \geq K \geq 10^2$	Умеренно нарушена	Не менее 10 лет снижения степени вредного воздействия
IV класс – малоопасные	$10^2 \geq K \geq 10$	Умеренно нарушена	Период восстановления не менее 3 лет
V класс – практически не опасные	$K \leq 10^4$	Практически не нарушена	Оперативное восстановление

* $K_i = C_i / W_i$, где K_i – показатель степени опасности компонента; C_i – концентрация отдельного компонента; W_i – коэффициент опасности отдельного компонента; $K = K_1 + K_2 + K_n$.

** Экосистема – это общность компонентов неживой и живой природы в определенном пространстве, все части которой взаимодействуют друг с другом, используя поток энергии и создавая круговорот веществ [3].



Рис. 1. Общая классификация отходов

Особую опасность представляют диоксинсодержащие отходы, образующиеся при сжигании промышленного и коммунального мусора, бензина, пестицидов. Диоксины очень канцерогенны, мутагенны и эмбрионально токсичны.

Ежегодный объем образования твердых промышленных отходов (ТПО) и твердых коммунальных отходов (ТКО) в мире превышает 2,1 млрд т, то есть на каждого жителя нашей планеты приходится 1,2–2,6 т ТПО и 0,35–0,75 т ТКО [4]. В нашей стране под отходы занято более 0,25 млн га, в том числе около 0,15 млн га под ТКО.

Твердых коммунальных отходов в нашей стране образуется ежегодно около 56 млн т, площадь оборудованных полигонов составляет около 3 млн га, несанкционированных свалок – более 9 млн га. В атмосферу выбрасывается 19–20 млн т загрязняющих веществ, из которых 15–16 млн т попадают в воздух без предварительной очистки. В водоемы поступает 55–60 км³ сточных вод, из которых 37 % – загрязненных, 60 % – нормативно чистых и только 3 % – нормативно очищенных сточных вод.

На территории России накоплено около 80 млрд т ТКО и ежегодно образуется около 35 млн т таких отходов, занимаемая ими площадь – около 9 млн га.

Вещественный состав ТКО в среднем следующий: макулатура – 20–40 %, пищевые отходы – 25–40 %, стекло – 4–6 %, пластмасса – 1–5 %, черные и цветные металлы – 2–3 % и др.

Наибольшее распространение в России и за рубежом получили следующие технологии обезвреживания и утилизации коммунальных отходов:

- складирование (ликвидация биологическая);
- сжигание (ликвидация термическая);
- компостирование (утилизация биологическая).

Складирование ТКО на полигонах

В России уже скопилось свыше 8 млрд м³ коммунальных и промышленных отходов. Полигоны заполнены в среднем по стране на 50–90 %.

Полигоны ТКО являются специальными сооружениями, предназначенными для изоляции и обезвреживания ТКО, и должны гарантировать санитарно-эпидемиологическую безопасность населения.

Для создания полигонов, предназначенных для складирования ТКО, отводят ровный участок земли, расположенный на водоупорных грунтах с уровнем грунтовых вод ниже 3 м от поверхности площадки.

Термические технологии обезвреживания и переработки ТКО

Термические методы утилизации ТКО являются одним из объемных методов переработки. Преимущество метода состоит в значительном уменьшении объема обрабатываемого материала. При сжигании отходов их масса уменьшается на 85–90 %. Образующиеся в процессе горения зола и шлак удаляют на полигоны. Газы, которые образовались в процессе термической переработки, проходят очистку и удаляются в атмосферу.

Сжигание применяют при переработке ТКО на мусоросжигательных заводах. В России часть мусоросжигательных заводов, закупленных за рубежом, не работают, так как они не приспособлены к комбинированным коммунальным отходам, которые преобладают в нашей стране.

На рисунке 2 приведена схема сжигания ТКО мусороперерабатывающего завода.

При сжигании мусора с самым различным сочетанием компонентов образуется огромное количество вредных продуктов, содержащих такие опасные ве-

щества, как диоксины, фосген, синильная кислота и др., а также зола и шлаки неизвестного состава и с непредсказуемыми свойствами. Особенно велика при сжигании диоксиновая опасность [2].

Диоксины – общепринятое название группы органических веществ, которые относятся к классу полихлорированных полициклических соединений. Под этим названием объединено более 200 веществ.

В работе К.В. Ладыгина приведена таблица (табл. 2), показывающая зависимость содержания диоксинов от метода сжигания [5].

Таблица 2

Зависимость содержания диоксинов от метода сжигания

Метод сжигания	Концентрация диоксинов в воздухе, нг/м ³	Производительность установки, кг отходов/ч	Максимальная концентрация диоксинов в воздухе, пг/м ³
Однокамерная печь без камеры дожигания	952,87	100	57
Двухкамерная печь с камерой дожигания (1 с)	565,26	100	35
Вращающаяся печь, 700 °С (1 с)	161,5	500	10,87
Вращающаяся печь, 700 °С (3 с)	20,9	500	1,42
Двухкамерная печь с сухим скруббером (2 с)	12,43	100	0,77
Двухкамерная печь с влажным скруббером (2 с)	2,1	100	0,13
Двухкамерная печь с сухим скруббером и автоматическим управлением (2 с)	0,32	100	0,02
Высокотехнологическая печь (2 с) с высокой турбулентностью, 850/1000 °С, с контролем загрязнения	0,16	100	0,01
Высокотехнологичное сжигание опасных отходов с контролем загрязнения и показывающее соответствие предельным значениям	0,12	100	0,0074

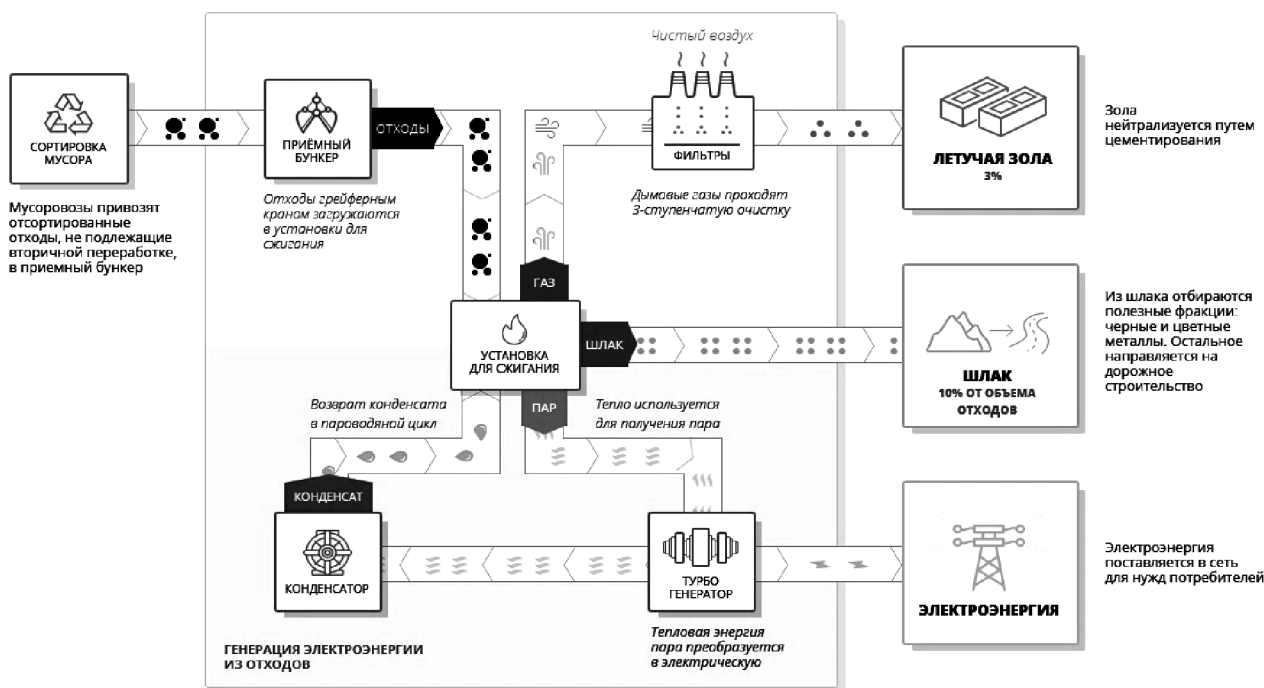


Рис. 2. Схема сжигания ТКО

Годовое количество выбросов диоксинов выражается формулой:

$$M_d = (K_{за} + K_{ост}) \cdot G_{от} \text{ [мкг I-TEQ/год]}$$

где $K_{за}$, $K_{ост}$ – коэффициенты эмиссии выбросов диоксинов в атмосферу и в остатках, принимаются в зависимости от типа, состава и режима работы установки огневого обезвреживания МО, мкг I-TEQ/т; $G_{от}$ – годовое количество обезвреживаемых отходов, т/год; I-TEQ – Международный эквивалент токсичности диоксинов.

Содержание диоксинов в отходящих газах:

$$X_g = K_{за} \cdot 103 / V_g \text{ [нг/м}^3\text{]}$$

где V_g – количество отходящих газов, образующееся при огневом обезвреживании 1 т отходов, м³/т.

Расчеты выполнены для годового расхода обезвреживаемых отходов – 600 т/год, часовых производительностей установок по сжиганию отходов – 100 кг/ч и 500 кг/ч. Удельное содержание диоксинов в отходящих газах (X^t) и их максимальная концентрация в атмосферном воздухе (C^m) рассчитывались на основе вышеприведенного элементного состава отходов, методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД 86) для высоты дымовой трубы 20 м и содержания кислорода в отходящих газах, равном 11 % [5].

Таким образом, первая ступень очистки дыма находится в котле. Дымовые газы более 2 секунд выдерживаются при температуре свыше 850 °С, что обеспечивает разложение диоксинов. Также в котле происходит нейтрализация оксидов азота.

Вторая ступень – очистка в реакторе от органических веществ, тяжелых металлов и кислотных составляющих с помощью активированного угля и гашеной извести. На этой стадии разрушаются вторичные диоксины, которые образуются при охлаждении дымовых газов на выходе из котла. Третья ступень – очистка дымовых газов в рукавном фильтре от золы, пыли и продуктов газоочистки.

Получаемый в котле пар направляется в турбогенератор для производства электроэнергии, которая поставляется в сеть. На собственные нужды завода расходуется 5–10 % производимой энергии.

После турбины пар по трубам направляется в конденсатор, где преобразуется обратно в воду и возвращается в котел, таким образом продолжая работать в замкнутом цикле.

Шлак, который образуется в котле, составляет 30 % от массы и 10 % от входящего объема отходов и имеет такой же класс опасности, как и несортированные отходы. Шлак направляется на охлаждение, а затем выгружается на ленточный транспортер. По ходу движения из шлака отбираются черные и цветные металлы, которые впоследствии направляются на переработку.

Летучая зола, оседающая на фильтрах, составляет 3 % от перерабатываемых отходов и обладает более высоким классом опасности. Зола нейтрализуется путем цементирования.

Компостирование с получением ценных азотосодержащих удобрений, биотоплива и биогаза

Компостирование – это технология переработки отходов, основанная на их естественном биоразложении. Наиболее широко компостирование применяется для переработки отходов органического, а также растительного происхождения, таких как листья, ветки, скошенная трава и др. Существуют технологии компостирования пищевых отходов и отходов сельского хозяйства.

К перспективным технологиям переработки отходов относятся, например, следующие: графеновые, нанотехнологии, композиционные, резонансные, трансмутантные, биобактериальные, синергетические, электромагнитные, термохимические, конвергентные и множество других технологий, частично приведенных в работе [1], но недостаточно используемых в области переработки отходов. Ниже приведены некоторые из этих технологий.

Графеновые технологии. Графен – это чешуйки графита толщиной в один атом, состоящие из конденсированных шестичленных колец. Исходное сырье – отходы от обогащения графита, отходы графитизации, графитовая спель, отходы при получении искусственного графита и др.

После обогащения сырья графен получают, используя многие технологии, приведенные в работе [1]. Наиболее простыми из них являются:

- механическое отшелушивание слоев графита по технологии К.С. Новоселова (технология скотча): кусочки графена получают при механическом воздействии на высокоориентированный пиролитический графит. Сначала плоские куски графита помещают между липкими лентами (скотч) и поэтапно отщепляют, создавая достаточно тонкие слои (среди многих пленок могут попадаться однослойные и двухслойные, которые и представляют интерес). После отшелушивания скотч с тонкими пленками графита прижимают к подложке окисленного кремния;

- послойно расщепляют графит в жидкостях (технология диспергирования) под воздействием ультразвука или электрохимически в ионных жидкостях;

- метод обработки графита сильными кислотами и окислителями.

Графен обладает свойствами, которые определяют его широкие области применения и большое будущее. Так, он отличается высокой прочностью – в 200 раз прочнее стали, теплопроводность графена в 36,5 раза выше Si, электропроводность на два порядка больше Si, он является высокорекреационным материалом и др.

Области применения графена очень широкие: углеродная электроника, графеновые электроды; сверхскоростные компьютеры; полевые транзисторы; сверхпроводники, выделяющие при этом очень мало тепла; сенсоры; гибкие ЖК-дисплеи экранов; суперконденсаторы; мембраны с регулируемой проницаемостью; прозрачные электроды; магнитометры и многие другие области эффективного применения графена.

Нанотехнологии. Это технологии, в которых используют наночастицы. Размер наночастиц – от 1 мкм до 1 нм.

Сырьем для нанотехнологий являются различные пылевые отходы от улавливания пыли в электрофильтрах и циклонах.

Количество пылевых отходов огромно на самых различных производствах: в производстве металлов, цемента, строительных материалов, химических веществ, пластмасс, в машиностроении и пр.

Готовые наночастицы обладают многими уникальными свойствами, главное из которых – они чрезвычайно высокоактивны вследствие высокой удельной поверхности и ее деформационной структуры. Поэтому наночастицы очень химически активны, быстро слипаются друг с другом, образуя агрегаты – нанокластеры, которые при помолке совместно с другими материалами или смешении разваливаются. Кроме того, наночастицы обладают высокой адгезионной способностью – быстро прилипают к любой поверхности, зернам материалов, обуславливая изменение их свойств. Наночастицы увеличивают пластичность масс и снижают температуру спекания изделий. Поэтому все технологические операции с наночастицами (транспортировка, дозировка, смешение, формование) должны обязательно производиться на герметически закрытом оборудовании с отрицательным давлением.

Композиционные технологии. Это гармоничное объединение двух и более разнородных и взаимосвязанных отходов, обуславливающих в итоге получение более высоких свойств, чем исходные отходы [1].

Исходное сырье – все промышленные и коммунальные отходы. Сущность композиционных технологий заключается в гармоничном объединении различных отходов, где один отход помогает другому получить положительное качество продукции.

Резонансные технологии. Это совмещение собственных частот колебаний частей элементов или систем с прилагаемой внешней частотой колебаний. При этом амплитуда колебаний элементов резко возрастает и материал разваливается – диспергируется на отдельные части.

Исходное сырье – твердые и жидкие промышленные отходы. По резонансной технологии твердые отходы разваливаются, а из жидких отдельные вещества выпадают в осадок.

Синергетические технологии (самоформирующиеся). Это наибольшее использование свойств самих веществ (компонентов) для формирования необходимых свойств материалов и изделий под воздействием электромагнитной энергии. В основе синергетики лежит механизм самоорганизации систем с постоянным обменом своим содержанием с окружающей средой [1].

Сырьем для синергетических технологий являются любые отходы. Начинать разработку синергетических технологий необходимо с их компьютерного, физико-химического моделирования и расчетов с использованием методов и технологий искусственного интеллекта.

В настоящее время в России на одного жителя города приходится примерно по 1 т твердых отходов в год, причем эта цифра постоянно увеличивается. Кроме того, общее количество отходов в нашей стране ежегодно возрастает на 4 млрд т, что может привести в ближайшем будущем к глобальному экологическому кризису: загрязнению атмосферы, гидросферы и литосферы отходами, особенно вредными радиоактивными отходами.

Фактически промышленные отходы и отходы коммунального хозяйства являются ценнейшим вторсырьем, где отходы одного производства и предприятия являются важнейшим сырьем для другого производства и предприятия.

Поэтому ни в коем случае нельзя заниматься ликвидацией отходов, а необходимо максимально эффективно использовать их для производства высококачественной продукции по безотходным, экологически чистым технологиям с достижением наибольшей степени ее полезности у потребителей. Необходимо полностью перерабатывать отходы и лишь в крайних случаях сжигать.

Переработка промышленных и коммунальных отходов является высокоприбыльной областью производства, в том числе и за счет перехода на безналоговое производство и потребление продукции из отходов.

Литература

1. Хорошавин, Л. Б. Диалектическое развитие технологических науки технологий / Л. Б. Хорошавин. – 2-е изд. – Екатеринбург : ООО УИПЦ, 2014. – 457 с.
2. Основы инженерной экологии / В. В. Денисов, И. А. Денисова, В. В. Гутенев, Л. Н. Фесенко. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2013. – 623 с.
3. Экология. Основы геоэкологии // А. Г. Милютин, Н. К. Андросова, И. С. Калинин, А. К. Порцевский. – Москва : Юрайт, 2013. – 542 с.
4. Экология : учебник // В. Н. Большаков, В. В. Качак, В. Г. Коберниченко [и др.]. – Москва : Логос, 2010. – 504 с.
5. Ладыгин, К. В. К вопросу предварительной оценки и методов снижения содержания диоксинов в отходящих газах установок тремоокислительного обезвреживания медицинских отходов / К. В. Ладыгин, Н. Д. Осветицкая, Ю. А. Рахманов. – Текст : электронный // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. – 2014. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-predvaritelnoy-otsenki-i-metodov-snizheniya-soderzhaniya-dioksinov-v-othodyaschih-gazah-ustanovok-termookislitel'nogo/viewer> (дата обращения: 06.04.2022).
6. Хорошавин, Л. Б. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов: учебное пособие / Л. Б. Хорошавин, В. А. Беляков, Е. А. Свалов. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2016. – 219 с.

N.A. Bormosov, M.M. Lukinov
Vologda State University

BASIC AND PROMISING TECHNOLOGIES OF SOLID HOUSEHOLD WASTE PROCESSING

One of the main pressing issues of our country is the use of industrial and household wastes, i.e. the maximum use of secondary resources. This research is devoted to the study of technologies for the processing and disposal of household solid waste necessary for the destruction of garbage. The paper presents the main and promising methods of waste disposal and shows the dependence of the content of dioxins in flue gases on the selected combustion technology.

Household solid waste, waste processing technologies, dioxins, waste hazard classes, thermal neutralization.