

---

---

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

## ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

**М.А. Пименова, кандидат технических наук;**

**А.В. Собкалов;**

**А.Р. Сай.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены технологии обезвреживания отходов, наносящие минимальный экологический ущерб окружающей среде.

*Ключевые слова:* сжигание, переработка, твердые коммунальные отходы

## FEATURES THERMAL TECHNOLOGIES RECYCLING OF INDUSTRIAL AND MUNICIPAL WASTE

M.A. Pimenova; A.V. Sobkalov; A.R. Sai.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Look at techniques of neutralization of waste that cause minimal environmental damage to the environment.

*Keywords:* combustion, recycling, municipal solid waste

На начало XXI в. на предприятиях различных отраслей промышленности Российской Федерации находилось около 1500 млн т отходов производства и потребления. Ежегодно образуется более 90 млн т промышленных отходов (ПО), из которых 87 млн т относятся к III и IV классам опасности. Масса отходов потребления или твердых коммунальных отходов (ТКО) ежегодно возрастает в России на 30 млн т [1].

Для эффективного обезвреживания отходов необходимы технологии, наносящие минимальный экологический ущерб окружающей среде, характеризующиеся низкими капитальными затратами и относительной рентабельностью. Разнообразие ПО и ТКО по химическому составу не позволяет создать универсальную технологию их утилизации.

В европейских государствах более 40 % отходов превращают биокomпостированием в органические удобрения, 10 % сжигают на мусоросжигательных заводах (МСЗ), 40 % захоранивают в странах третьего мира, а оставшиеся 10 %, в основном активный ил, сбрасывают в моря [2].

В мировой практике для утилизации и обезвреживания ПО и ТКО используют термические, химические, биологические и физико-химические методы.

К термическим методам обезвреживания отходов, как наиболее распространенным, относятся сжигание, пиролиз и газификация.

Сжигание – наиболее отработанный и используемый способ, осуществляемый в печах различных конструкций при температурах не менее 1200 °С. В результате сгорания

органической части отходов образуются диоксид углерода, пары воды, оксиды азота и серы, оксид углерода, полихлорированная органика и различные аэрозоли. Зола, содержащая тяжелые металлы, накапливается в нижней части печи и периодически вывозится на полигоны для захоронения или используется в производстве строительных материалов.

Страны Европейского союза и Нового Света начали активно заниматься переработкой ПО и ТКО еще в 60-е гг. прошлого столетия. В течение 10 лет в США, Японии, Германии, Франции и Швейцарии была создана разветвленная инфраструктура по селективному сбору, сортировке и первичной переработке отходов, а также построены высокопроизводительные МСЗ.

В России МСЗ появились только в 90-е гг. прошлого века в Москве, Санкт-Петербурге и некоторых других городах. МСЗ, построенные по западным технологиям и требующие первичной сортировки ТКО, не приспособлены к российским условиям.

Фирмы, занимающиеся сжиганием опасных отходов, сталкиваются с проблемой превышения содержания оксидов азота, серы и углерода, а также диоксинов и бензопирена в газовых выбросах МСЗ над предельно допустимыми нормативами. Вредные выбросы появляются в основном при загрузке новой порции отходов и резком понижении концентрации кислорода в реакторе или из-за недостаточного перемешивания горючей массы, и, следовательно, низкой теплопередачи. Для борьбы с этим эффектом реактор печи оборудуют системами остановки подачи отходов до момента восстановления концентрации кислорода до оптимальной или дополнительной инъекции кислорода в зону горения (инсинераторы фирмы Prex Qir, Ash Groove Cement, USA).

Примером крупной установки (штат Нью-Джерси, США) по огневому обезвреживанию жидких отходов является инсинератор производительностью 4 м<sup>3</sup> отходов в час, сжигание в котором осуществляется при 1000–1200 °С, а время пребывания в зоне горения – не менее 2,5 сек. Установка оборудована скрубберным блоком типа «Вентури», охладительным скруббером и уловителем аэрозоля. Стоимость утилизации жидких отходов в ней доходит до 65 долл. США за тонну.

В России для сжигания жидких отходов в основном используют турбобарботажные установки «Вихрь» производительностью до 1 т/ч. Температура сжигания 800–1100 °С. Установка снабжена системой утилизации тепла и очистки дымовых газов от аэрозоля. Стоимость сжигания – 30–50 долл. США за тонну.

Не так давно в г. Томске в ОГУЗ «Областная туберкулезная клиническая больница» был запущен в работу комплекс термического обезвреживания отходов (КТО-50.К20) (рис. 1). Оборудование разработано и изготовлено ведущим российским производителем в этой области – ЗАО «Безопасные Технологии».



Рис. 1. Комплекс термического обезвреживания отходов

Установка способна утилизировать медицинские отходы различных классов опасности: предметы медицинского назначения, ухода за пациентами и т.д. Процесс огневого обезвреживания, протекающий при температуре 850–900 °С, и последующее дожигание дымовых газов – 1100–1200 °С исключают возможность распространения инфекций и соответствуют экологическим и санитарно-гигиеническим нормам, действующим на территории Российской Федерации. Многоступенчатый принцип действия комплекса, включающий термическое разложение отходов, высокотемпературный дожиг, реагентную очистку и обеспыливание дымовых газов минимизирует воздействие КТО-50.К20 на окружающую среду. Мощность комплекса (50 кг/ч) позволяет полностью покрывать нужды учреждения, а автоматизированная система управления и контроля делают его максимально эффективным и удобным в эксплуатации.

Для обезвреживания твердых промышленных и коммунальных отходов широко используют вращающиеся печи, позволяющие организовать эффективное перемешивание отходов. Вращающаяся печь представляет собой цилиндрическую конструкцию, стенки которой облицованы термостойким материалом. Они монтируются горизонтально с небольшим уклоном. Негорючие отходы (зола, металлолом) перемещаются вдоль наклонной печи и после охлаждения выводятся в специальные контейнеры.

Надо также отметить, что на сегодняшний день, например в Германии, повсеместно применяется традиционная технология сжигания отходов в слоевых печах на подвижных колосниковых решетках с применением газоочистного оборудования. Исключение составляют предприятие в поселке Грешине (земля Саксония-Анхальт) и один из заводов в г. Штудгарте, где ТКО сжигают в топках с псевдоожиженным слоем. Кроме того, в г. Ноймюнстере (земля Шлезвиг-Гольштейн) используется установка, в которой подготовленные отходы сжигаются в циркулирующем кипящем слое, а в г. Бургау (Бавария) действуют две небольшие пиролизные установки. Однако из-за больших экономических затрат широкого распространения эти технологии термической переработки ТКО не получили.

Для эффективного улавливания полихлорированной органики (диоксинов) в современных установках применяется:

- вброс измельченного активированного угля в струю дымовых газов с последующей фильтрацией потока рукавными фильтрами;
- каталитические конверторы для селективного восстановления оксидов азота аммиаком с одновременным окислением диоксинов и фуранов;
- адсорберы с активированным углем, коксом или сорбалитом (смесью активированного угля и гидроксида кальция) для поглощения загрязнителей, получившие название санитарных («полицейских») фильтров.

Сжигание в псевдоожиженном слое – относительно новая технология обезвреживания активного ила и подобных ему отходов. Основными операциями переработки отходов являются удаление крупных частиц из отходов, обезвоживание до 50 % влажности, измельчение отходов, сушка, сжигание, очистка отходящих газов.

Камера сгорания представляет собой колонну с футеровкой, заполненную песком или глиноземом с температурой 760–810 °С (пирофлюидная технология). Ил вводится в печь потоком воздуха и при высыхании сгорает, передавая большую часть тепла песчаной насадке.

Установки с псевдоожиженным слоем требуют в два-три раза более высоких капитальных вложений, чем вращающиеся печи. Поэтому в Европе они постепенно вытесняются газификационными печами.

Газификационная технология обезвреживания отходов была заимствована из металлургической промышленности, в которой для получения горючих газов из бурого высокозольного угля её широко использовали в камерных, циклонных или надслоевых реакторах. Отличительная особенность газификации от сжигания состоит в том, что

в реакторе газовая фаза имеет восстановительные свойства. Поэтому образование оксидов азота и серы термодинамически затруднено, и вредных газовых выбросов у газогенераторов значительно меньше, чем у печей сжигания. К этому направлению следует отнести плазмохимические методы и технологию WTEC.

Еще одним новым радикальным способом утилизации ТКО является его плазмохимическая переработка, обеспечивающая существенное снижение вредных выбросов в атмосферу. В реакционной камере осуществляется их термодеструкция с образованием при высоких температурах (более  $\sim 2000$  °С) водорода и окиси углерода, что обеспечивает повышенную калорийность используемого в дальнейшем пиролизного газа ( $Q_i=2\ 400$  ккал/кг (10,0 МДж/кг)), сжигаемого затем в камере дожигания.

Полученное тепло используется в специализированном котле-утилизаторе для выработки горячей воды, пара или в последующем – электроэнергии, а дымовые газы направляются на газоочистку.

При применении плазмохимической технологии обезвреживания ТКО в качестве источника тепла используются специальные электродуговые плазмотроны, питающиеся постоянным током напряжением 700 В. В нижней части камеры с плазмотронами имеется ванна для приема расплавленного металла и шлака. В ванну через специальные «лётки» сливается расплав, который отвердевает в виде гранул шлака и сплавов различных металлов. В верхней части плазмохимического реактора имеется устройство с шиберами, герметизирующее внутреннюю камеру и осуществляющее дозированную подачу порций ТКО.

По такой технологической схеме был реализован проект установки сжигания в Израиле с годовой производительностью 3 000 т/год ТКО. Пиролизный газ с вредными примесями в виде пыли, смол и хлорсодержащих и фторсодержащих компонентов направлялся в камеру дожигания, оборудованную горелками. Продукты термического разложения пиролизных газов с температурой  $\sim 1300$  °С направлялись в котел-утилизатор. Вырабатываемая на установке электроэнергия шла на удовлетворение собственных нужд установки, основными потребителями которой являлись четыре плазмотрона, электрической мощностью по 100 кВт каждый.

Следует отметить, что такая технология позволяет сжигать до 10 000–12 000 т ТКО в год. Однако с увеличением теплопроизводительности котлов возникают сложности при обеспечении совместной работы системы плазменного сжигания и системы утилизации тепла отходящих газов, особенно при изменении нагрузки или частичном включении или отключении плазмотронов. Этот способ требует значительных капитальных затрат и высокой профессиональной подготовки персонала.

Для МСЗ с годовым объемом переработки 150 000 т и более в России была разработана эффективная схема использования плазмохимического способа с применением специальной парогазовой установки (ПГУ). В камере сжигания газовой турбины ПГУ очищенный и осушенный пиролизный газ сжигается для выработки электроэнергии генератором. После газотурбинной установки дымовые газы, имеющие достаточно высокую температуру, направляются в котел-утилизатор для выработки перегретого пара, который поступает затем в паровую турбину, вырабатывающую дополнительно еще  $\sim 30$  % электроэнергии. При этом КПД ПГУ может достигать 60 %, тогда как у обычных теплоцентралей он составляет менее 40 %.

Также представляет интерес созданный комплекс оборудования ЗПБО-50 для утилизации ТКО (рис. 2). Работа оборудования позволяет проводить утилизацию отходов с получением высококалорийных энергоносителей. Последние обеспечивают автономный режим работы комплекса с возможностью коммерческой реализации высокоэнергетических топлив и вторичного сырья.

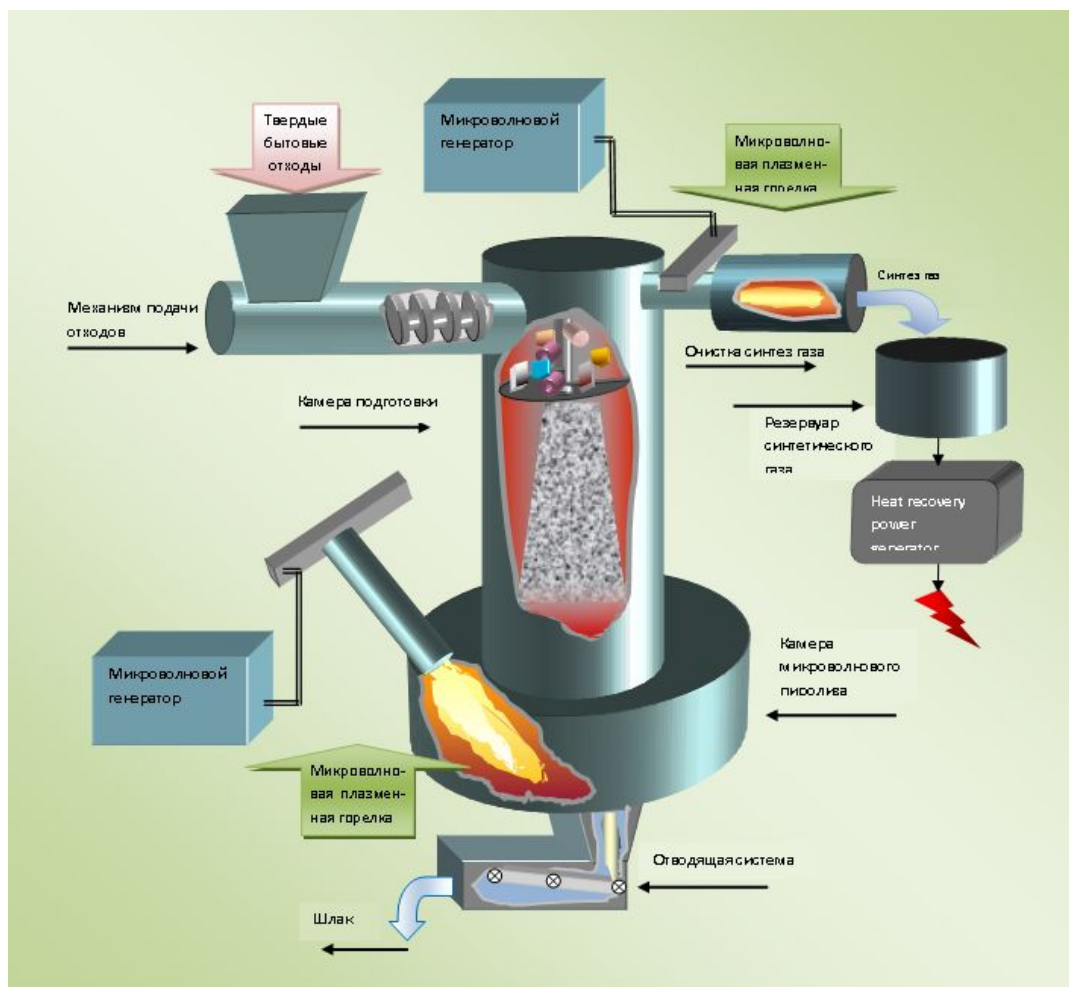


Рис. 2. Продукция, получаемая в результате переработки ТКО с применением микроволновой плазменной горелки

Для крупных заводов экономическая ценность получаемой из ТКО продукции обычно достаточна, чтобы покрыть эксплуатационные расходы и получить прибыль от её продажи. Это может быть достигнуто также за счет технологии микроволновой плазменной переработки ТКО. Существенное снижение эксплуатационных затрат при ее реализации обеспечивает преимущество последней по сравнению с электродуговой. Кроме того, вредные выбросы в атмосферу при использовании микроволновой плазменной технологии существенно ниже.

Тепловая энергия, полученная при реализации плазменной утилизации ТКО, также снижает нагрузку на другие источники получения электрической энергии, например на теплоэлектростанции, работающие на угле, газе и мазуте. Система плазменной утилизации ТКО позволяет получать до 1,2 МВт тепловой мощности на каждую тонну муниципальных отходов.

Известный метод сверхкритического водного окисления использует температуры и давления выше критических (для воды 374 °С и 22,1 МПа), при которых плотность насыщенного пара и жидкости становится одинаковой (0,05–0,30 г/см<sup>3</sup>) и различия между фазами исчезают. В такой среде органические соединения хорошо растворимы и быстро реагируют с окислителем (кислородом или перекисью водорода), образуя углекислый газ, воду и неорганические кислоты или соли, причем последние соединения растворимы очень плохо и выпадают в осадок. Данная технология является высокопроизводительной, экологически безопасной, экономически эффективной и требует минимум персонала. Сухой остаток на выходе составляет всего 2–8 %, а производительность уже существующих установок доходит до 400 кг/ч. Но вместе с тем высокое рабочее

давление представляет определенную опасность, к тому же установки обладают сравнительно малой износоустойчивостью и требуют обязательной предварительной сортировки отходов.

Более приемлемым может оказаться использование автономных систем по переработке ТКО, позволяющих трансформировать отходы в энергию и реализующих как метод газификации, так и окисления – технология WTEC (рис. 3). Главные достоинства этих установок – автономность, мобильность и невысокая стоимость оборудования:

- характеризуются высокой эффективностью преобразования энергии – примерно 95 %;

- реализуют процесс, позволяющий перерабатывать все виды твердых и жидких отходов, включая медицинские и другие опасные отходы, позволяя уменьшить объем ТКО более чем на 2/3;

- не требуют предварительной сортировки отходов, тем самым снижая эксплуатационные расходы, могут быть загружены тюкованные или уплотненные отходы;

- не образуют шлака. Зола стерильная, малотоксичная и рыхлая, практически не содержит углерода и выдерживает EPA тест «Характеристики токсичности. Процедура выщелачивания». Стекло и металл могут быть легко и безопасно отделены от шлака для последующей переработки;

- обладают широким спектром потенциальных источников дохода: утилизация отходов, вторичное сырье, производство электроэнергии, технологического тепла и/или пара для промышленности, пар низкого давления и горячая вода, углеродные кредиты и кредиты возобновляемой энергии.

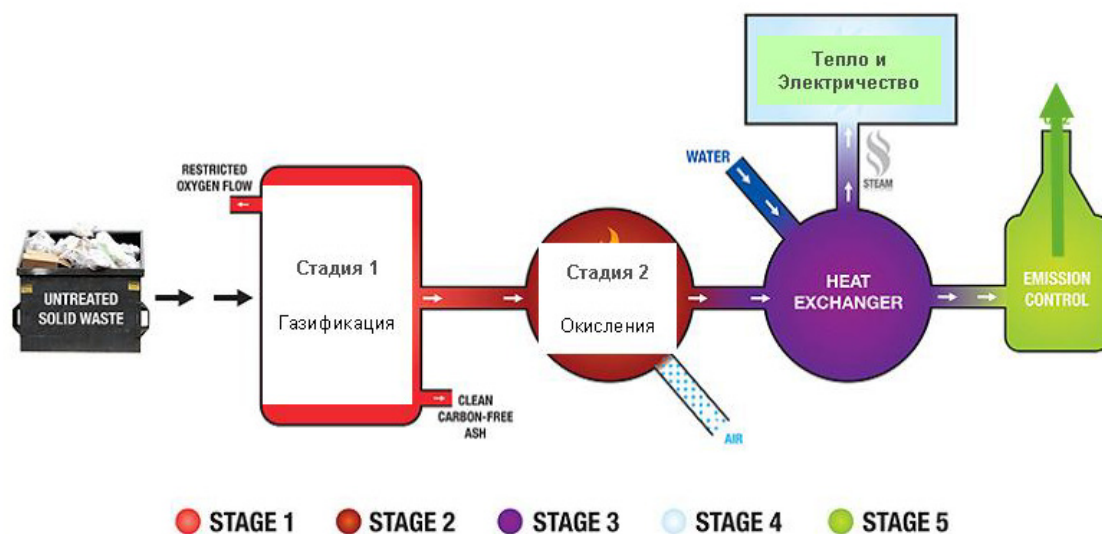


Рис. 3. Двухстадийная технология окисления-газификации ТКО

Таким образом, результаты отечественных и зарубежных научно-исследовательских работ и научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, их опытно-промышленная апробация и опыт практической эксплуатации специализированных предприятий определили генеральный вектор решения проблемы обращения с ТКО – селективный сбор – механизированная переработка с получением вторичного сырья и новой промышленной продукции (например, природоохранного назначения) с завершением их жизненного цикла, так называемых «хвостов», на термотехнологических установках для выработки энергоносителей.

### **Литература**

1. Ресурсосберегающие технологии переработки твердых отходов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивающие безопасность жизнедеятельности мегаполиса / В.С. Артамонов [и др.]. СПб.: Гуманистика, 2008. 192 с.
2. Бельков В.М. Методы, технологии и концепции утилизации углеродосодержащих промышленных и твердых отходов // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». 2007. № 11. Ноябрь.