

Юрий Почанин

Утилизация и переработка ОТХОДОВ

Юрий Степанович Почанин

Утилизация и переработка отходов

*http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=66656250
SelfPub; 2023*

Аннотация

В книге описан европейский опыт организации управления сбором и переработкой промышленных и бытовых отходов. Приведена классификация отходов в России. Рассмотрены основные методы, применяемые при обезвреживании и утилизации отходов, в том числе термические, физические, химические, физико-химические, биологические, комбинированные и окисление суперкритической водой. Описаны основные технологии утилизации, в том числе рециклинг, регенерация и рекуперация промышленных, бытовых, сельскохозяйственных, медицинских и радиоактивных отходов. Дана структура открытых и закрытых полигонов для захоронения и обработки промышленных и бытовых отходов. Рассмотрены технологические схемы работы мусороперерабатывающих и мусоросжигательных заводов в России. Описан ряд инновационных технологий по переработке углеводородсодержащих отходов.

Содержание

Введение	4
1.1. Система управления отходами в ЕС	9
1.2 Сбор и вывоз отходов	22
1.3 Переработка и утилизация отходов	29
1.4 Опыт Германии	36
1.5. Опыт Франции	43
3.1. Термические методы	61
Конец ознакомительного фрагмента.	82

Юрий Почанин

Утилизация и переработка отходов

Введение

Стремительный рост населения на нашей планете влечет за собой повышенное потребление товаров, а значит, пропорционально увеличивается массовая доля отходов. Повседневное образование многотоннажного количества отходов и мусора в мире, их повсеместное распространение является наиболее важной и актуальной экологической проблемой современности. Согласно результатам исследования, проведенного Всемирным банком, к 2050 году объем мусора на планете составит 3.4 млрд тонн. В связи с увеличением масштабов и динамики твердых бытовых и производственных отходов происходит загрязнение биосферы, оказывается негативное влияние на здоровье человека, животных, природную среду.

Образование мусора (отходов) в разных странах мира происходит по-разному, рис.В.1.

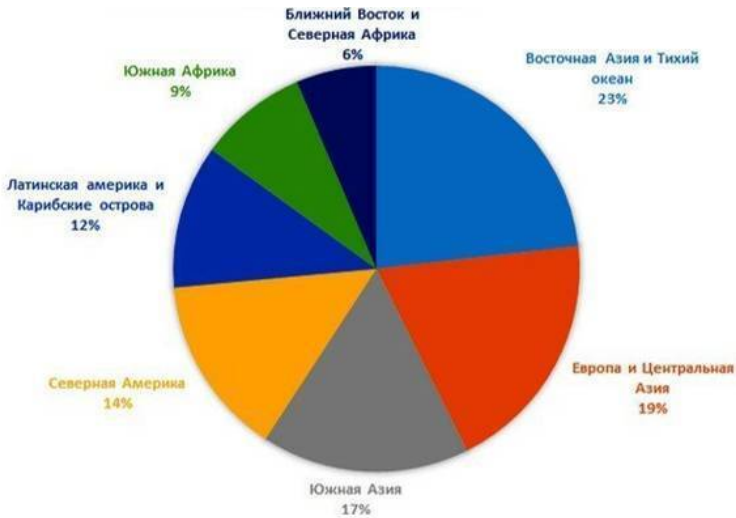


Рис. В.1. Образование мусора (отходов) в разных странах

Образование отходов (усредненные данные) в Европе по видам представлены на рис.В.2.

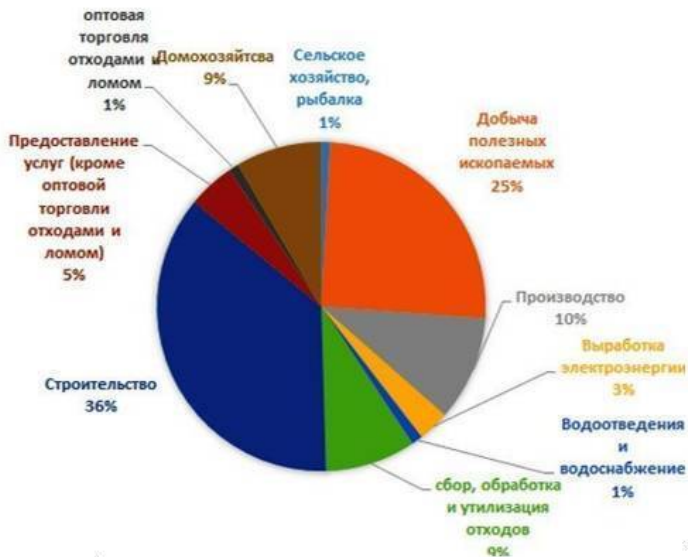


Рис.В.2. Образование отходов в Европе по видам

По данным Всемирного банка морфологический состав отходов стран мира представлен на рис. В.3.



Рис.В.3. Морфологический состав отходов стран мира

Сегодня в мире в среднем производится 0,74 кг отходов на душу населения в день, при этом в разных странах уровень образования отходов колеблется в пределах – от 0,11 до 4,54 кг, а в России в среднем производится от 0,8 – 1,3 кг.

Сейчас в России идёт реформа системы управления отходами. Согласно федеральным планам, к 2030 году количество очищенных отходов в стране должно вырасти с 3%

до 97%, утилизированных—с 1% до 86%. В рамках идущей реформы системы обращения с отходами с 1 января 2019, согласно распоряжению правительства N 1589-р, запрещено захоранивать без предварительной сортировки 42 вида отходов, включая бумажные, стеклянные отходы, шины, а также различную полиэтиленовую тару. Также планируется в разы увеличить количество комплексов по обезвреживанию отходов, производственно-технических комплексов и мусоросортировочных комплексов ТКО.

Утилизация отходов – это полная ликвидация или повторное использование отходов для различных целей. Непременным условием ее осуществления является безопасность. В конечном результате получают энергию, материалы, сырье или топливо.

В странах Запада уже давно налажен процесс утилизации мусора, причем не только того, что производится на собственной территории, но и утилизируют из других государств. В результате экономятся средства на закупку сырья для изготовления новой продукции

Глава 1. Европейский опыт

переработки промышленных и бытовых отходов

1.1. Система управления отходами в ЕС

Основой системы управления отходами в ЕС служит Концепция управления отходами и провозглашенные в ней следующие принципы устойчивого развития в области обращения с отходами.

1. Соблюдение иерархии обращения с отходами (приоритетности). Приоритеты по обращению с отходами расставляются следующим образом: предотвращение, минимизация, вторичное использование, использование материального потенциала, использование энергетического потенциала, захоронение.

2. Принцип предосторожности. Там, где существует угроза серьезного или необратимого ущерба для окружающей среды (ОС) или здоровья человека, отсутствие всеобъемлющих научных доказательств не должно быть причиной отказа от реализации экономически эффективных мероприятий по предотвращению деградации ОС.

3. Принцип близости. Отходы должны перерабатываться и обезвреживаться как можно ближе от мест их образования. Это сокращает время, энергию, вероятность аварий, финансовые затраты, воздействие на ОС от транспортирования. Иначе отрицательное влияние перечисленных выше факторов может перевесить преимущества от рециклинга, компо-

стирования и других методов обращения с отходами.

4. Принцип "загрязнитель платит". Загрязнитель должен нести все расходы, связанные с проведением мероприятий по обеспечению надлежащего качества ОС. Другими словами, стоимость этих мероприятий должна отражаться в стоимости товаров и услуг, которые загрязняют ОС (при производстве и/ или потреблении).

5. Принцип ответственности производителя. Данный принцип базируется на принципе "загрязнитель платит" и устанавливает физическую и финансовую ответственность производителя за весь жизненный цикл товара и его упаковки даже после окончания их использования потребителем. Таким образом, бремя (в т.ч. финансовое) переработки и утилизации продукции перекладывается на производителя, что мотивирует его разрабатывать менее опасные для ОС продукты, которые могут быть подвергнуты разборке, повторному использованию и рециклингу.

Законодательные рамки устанавливаются двумя директивами ЕС: директивой по отходам и директивой по опасным отходам. Приняты также директивы, регулирующие обращение с отдельными видами отходов: упаковкой, отработанными маслами, отходами очистных сооружений, батареями, вышедшими из употребления транспортными средствами, отходами электроники, а также директивы по захоронению и сжиганию отходов. Директивы ЕС устанавливают целевые показатели по обращению с отходами, которые должны быть

достигнуты странами – членами ЕС, и прописывают требования по созданию в странах условий достижения целей.

Страны – члены ЕС дорабатывают или разрабатывают национальное законодательство, чтобы обеспечить выполнение целей и требований директив ЕС. Так, в соответствии с директивой по отходам члены ЕС обязаны обеспечить прекращение несанкционированного размещения отходов в ОС, а также гарантировать, что переработка и санкционированное размещение производятся наиболее безопасными для ОС методами. Страны должны обладать сетью объектов по переработке и размещению отходов. Они должны создать орган управления, ответственный за обращение с отходами, который отвечает за анализ ситуации в области обращения с отходами, разработку и реализацию планов по управлению отходами, определение необходимости строительства объектов по переработке и размещению отходов, установку требований к обращению с отходами и т.д. Все производители или собственники отходов должны обращаться с отходами способами, определенными созданным органом управления и под его контролем.

Региональные и муниципальные власти разрабатывают детальные планы по управлению отходами согласно требованиям национального законодательства (созданного в соответствии с директивами ЕС). Муниципальные планы содержат конкретные цели, методы, процедуры по обращению с различными видами отходов.

На общеевропейском и национальном уровнях уже реализован ряд мер и проектов, направленных на минимизацию отходов и предотвращение их образования. Эти меры и проекты позволяют оценить потенциал некоторых инструментов-политических, информационных и экономических, которые могут быть использованы в данной области. Эти инструменты, во-первых, стимулируют сокращение образования отходов, а во-вторых, способствуют более широкому применению наиболее предпочтительных технологий обращения с отходами (например, вторичная переработка).

Нормативные правовые инструменты. В рамках экологического права процессы образования, учета, переработки и утилизации отходов регулируются в ЕС целым рядом документов, которые можно разделить на две большие группы:

–программные (программы действий-Action Programmes), имеют рамочный характер, определяют основные цели в соответствующей области для стран-членов ЕС на среднесрочную и/или долгосрочную перспективу (как правило, от 3 до 5 лет, могут охватывать период и до 10 лет);

–нормативные (договоры, директивы, правила, нормы и т.п.), как правило, обязательны для исполнения странами – членами ЕС. Они могут носить как рамочный характер (например, рамочная директива по отходам), так и касаться решения конкретных задач (например, регулирование допустимых норм выбросов от мусоросжигательных заводов, технологии конечной утилизации отходов на полигонах и т.д.).

В рамочной директиве по отходам дано определение понятиям "отходы" и "утилизация", а также установлена иерархия управления отходами, рекомендованная к использованию всеми странами-членами ЕС:

- предотвращение образования либо уменьшение количества отходов, а также снижение их токсичности;
- восстановление полезных качеств отходов, в т.ч. вторичная переработка, повторное использование или использование отходов в качестве источников энергии;
- безопасная окончательная утилизация как последняя возможная альтернатива.

Директива предписывает странам-членам ЕС запретить несанкционированное складирование, захоронение и утилизацию отходов. Для обращения с отходами предполагается создание международной сети специализированных предприятий с использованием эффективных и безопасных технологий переработки и утилизации отходов. Эти предприятия могут иметь разную форму собственности, в т.ч. принадлежать частным владельцам, но все они должны получить разрешение на обращение с отходами у соответствующих национальных или международных организаций. Также директива предполагает создание национальных планов по управлению отходами в странах-членах ЕС.

Директива по интегрированному предотвращению загрязнений и контролю над ними устанавливает перечень экологических требований для промышленных предприятий,

которые предприятия должны выполнять, чтобы получить разрешение на свою деятельность.

Страны, члены ЕС, обязуются предпринять необходимые меры для того, чтобы через соответствующие компетентные органы власти могли гарантировать, что в ходе работы предприятия:

а) предпринимают все необходимые предупредительные меры по предотвращению загрязнения окружающей среды, в частности, путем применения лучших существующих технологий;

б) не производят значительного загрязнения окружающей среды;

в) предотвращают образование отходов в соответствии с рамочной директивой по отходам;

г) перерабатывают отходы или, если это невозможно по техническим или экономическим причинам, утилизируют с минимальным ущербом для окружающей среды.

Главной целью директивы по сжиганию отходов является "предотвращение или ограничение негативного влияния на окружающую среду, оказываемого, в частности, вредными выбросами в атмосферу, почву, поверхностные и грунтовые воды, которые также могут нанести вред здоровью людей и которые образуются в процессе сжигания отходов". Для достижения этой цели директивой устанавливаются предельно допустимые нормы выбросов для мусоросжигательных заводов и когенерационных установок, кроме:

а) установок, использующих в качестве топлива остатки растений, древесные отходы деревообрабатывающей и лесной промышленности (за исключением тех отходов, которые могут содержать тяжелые металлы и другие опасные составляющие), пробку, радиоактивные отходы, останки животных и отходы горнодобывающей и нефтедобывающей промышленности;

б) экспериментальных и пробных вариантов соответствующих установок с объемом сжигаемых отходов не более 50 т/год.

В директиве приводятся определения таких понятий, как "отходы", "опасные отходы", "смешанные муниципальные отходы", "мусоросжигательный завод", "когенерационная установка", "номинальная мощность" и ряда других технических терминов, используемых при описании процесса сжигания отходов.

В директиве также определяются:

–порядок получения разрешений на строительство и эксплуатацию мусоросжигательных и когенерационных установок;

–процесс транспортировки к ним отходов;

–требования к эксплуатации установок;

–процедуры утилизации воды, используемой для очистки отходящих газов;

–обращение с остатками сжигания отходов;

–процедуры контроля и мониторинга;

- порядок предоставления общественности информации о функционировании таких установок;
- действия в случае сбоев в функционировании таких установок;
- санкции в случае нарушения условий директивы.

Директива по захоронению отходов определяет меры и процедуры предотвращения и/или минимизации негативно-го влияния на окружающую среду и снижения риска для здоровья человека, возникающего при захоронении отходов. В соответствии с директивой страны-члены ЕС должны пред-принять ряд мер по обработке отходов перед их захоронени-ем, разделению и отдельной переработке опасных и безопас-ных отходов, по осуществлению контроля над полигонами в ходе их эксплуатации и после закрытия. Данные действия осуществляются на основе принципа "загрязнитель платит".

В директиве также определяются:

- требования к различным видам отходов, поступающих на полигоны;
- классификация полигонов в зависимости от захоранива-емых отходов;
- порядок обращения с опасными отходами;
- условия технической эксплуатации полигонов;
- порядок получения разрешений на открытие новых по-лигонов.

В ЕС принят также ряд директив, которые регулируют по-рядок обращения с отдельными видами отходов (опасные от-

ходы, обработанные масла, иловые осадки, батареи и аккумуляторы, отходы упаковки, транспортные средства и др.), а также устанавливают процедуры обращения с отходами (сжигание муниципальных отходов, транспортировка отходов, требования к портовым пунктам приема отходов от морских грузовых перевозок и др.).

Недавно к этим документам добавилась Директива «О снижении воздействия на окружающую среду предметов из пластмассы», которая предусматривает с 2021 года отказ от использования десятка видов одноразового пластика – посуды и приборов, скатертей, ватных палочек, трубочек для коктейлей и др. Одна из причин такого решения – высокий уровень загрязнения пластиком Мирового океана. По данным информационного бюллетеня Европейской комиссии, пластмасса составляет более 80% морского мусора, и около половины из него – это одноразовый пластик.

Кроме того, в последнее время в Литве, Чехии, Грузии, Молдове и в других странах Европы и Азии были введены запреты или ограничено использование одноразовых пакетов, что также должно позитивно повлиять на ситуацию с отходами.

Кроме нормативных документов (директив), Европейская комиссия регулярно выпускает коммюнике, или сообщения (Communication), которые содержат обобщенные положения директив в той или иной области, а также планируемый порядок применения этих директив и ожидаемые результаты.

Такие сообщения являются программными документами и определяют основные направления национальной политики стран-членов ЕС в различных областях.

Одним из самых распространенных инструментов минимизации образования твердых бытовых отходов является схема "Платишь столько, сколько выбрасываешь". Эта схема применяется при работе как с домашними хозяйствами, так и с другими производителями твердых бытовых отходов. Она предусматривает оплату услуг компаний, занимающихся вывозом и утилизацией отходов, в соответствии с весом отходов.

Следующим весьма распространенным инструментом являются различные налоги на захоронение, утилизацию и/или транспортировку отходов. В этом случае налоги имеют фиксированную ставку. В Европе такой налог введен в 10 странах. Самый высокий – в трех скандинавских странах и Голландии – от 20 до 50 евро за тонну; в других странах он составляет от 5 до 20 евро за тонну. Кроме того, в Дании, Норвегии и Голландии существует налог на сжигание отходов.

Вышеуказанные инструменты могут быть эффективными при условии, что в стране или регионе, где они применяются, существуют альтернативные способы и технологии переработки и утилизации отходов, соотносимые или более выгодные по стоимости с обычным захоронением отходов на полигонах.

Еще один инструмент экономического стимулирования

сокращения отходов-возмещение/снижение ставки налогов на захоронение и/или вывоз отходов на сумму, затраченную домашним хозяйством или иным хозяйствующим субъектом на переработку/минимизацию отходов у источника (например, компостирование с использованием специальной установки).

Относительно новым понятием в сфере обращения с отходами стали-товарные сертификаты или товарные экологические разрешения (Tradable environmental permits). Этот инструмент пришел из практики экологической политики и представляет собой разрешение на определенное количество (квоты) тех или иных видов отходов. Если тот или иной потребитель производит меньшее количество отходов, он может продать свою квоту другим потребителям.

В настоящее время такие сертификаты нашли широкое применение только в Великобритании, в основном, при работе с отходами упаковки и биоразлагаемыми отходами. Такие сертификаты обычно признаются экономически эффективным средством для использования в экологических проектах. Кроме того, это удобный инструмент для компаний при выполнении ими своих обязательств в рамках принятой на себя ответственности производителей по сокращению отходов.

Большой вклад в процесс минимизации отходов могут сделать планы по предотвращению образования отходов (Waste prevention plans). Страны-члены ЕС реализуют в на-

стоящее время ряд проектов и программ по разработке подобных планов в различных областях экономики. Такие планы могут быть составлены как для целых отраслей, так и для отдельных производств. Обычно они разрабатываются в рамках различных систем экологического менеджмента (например, схема экологического менеджмента и аудита EMAS). Преимуществом таких планов является то, что они позволяют определить наиболее экономически эффективные пути предотвращения образования отходов; однако для их успешного выполнения требуется поддержка соответствующих органов власти.

Технологические методы минимизации и предотвращения образования отходов разрабатываются исходя из требований соответствующих нормативно-правовых документов, а также в соответствии с возможностями отраслевых технологических процессов. Как правило, они предполагают:

- уменьшение количества упаковки;
- снижение содержания вредных веществ в конечном продукте;
- удлинение срока жизни продукта;
- изменение дизайна продукта на более экологичный (использование экологически чистых материалов; создание продуктов с максимальными возможностями повторного использования и вторичной переработки и т.п.).

Информационные инструменты. К таким инструментам относятся различные информационные кампании и инфор-

мационные материалы (печатные, электронные, радио-, телевизионные и пр.) по вопросам минимизации отходов и предотвращения их образования. Подобные кампании и материалы для них могут быть подготовлены как органами государственной и местной власти, так и отдельными компаниями либо централизованно в рамках отдельной отрасли.

В ряде стран создаются специализированные информационные центры и консультационные службы, которые предоставляют соответствующую информационную и консультационную поддержку домашним хозяйствам, компаниям, предприятиям и учреждениям по вопросам сокращения отходов. Финансирование подобных служб осуществляется из разных источников: правительственные фонды, международные программы, средства предприятий и т.д.

1.2 Сбор и вывоз отходов

В соответствии с общеевропейским законодательством сбором, транспортировкой и переработкой отходов имеют право заниматься государственные, муниципальные и частные компании и организации, а также компании и организации смешанной формы собственности, имеющие необходимые разрешения. Независимо от вида компании, осуществляющей сбор, транспортировку и переработку, практически все схемы обращения с отходами в странах ЕС предполагают первичную сортировку отходов непосредственно в местах их образования (в домашних хозяйствах, на производстве, в офисных помещениях и т.д.).

Наиболее часто встречающиеся варианты сортировки отходов предполагают следующие варианты разделения на опасные и неопасные отходы. Опасные отходы должны собираться отдельно и доставляться на специальные пункты сбора, откуда их направляют на переработку в специализированные компании. Частные лица, как правило, осуществляют доставку опасных отходов на пункты сбора самостоятельно; для промышленных предприятий может быть организован забор непосредственно с производства.

Для отдельных видов отходов (например, батарейки) перерабатывающие компании могут организовывать пункты сбора в общественных местах, например, в супермаркетах.

Для привлечения внимания населения емкости для сбора красочно оформляются; рядом с ними могут помещаться стенды с информацией об обращении с соответствующими видами отходов.

Из оставшихся неопасных отходов выделяют крупногабаритные отходы:

- бытовая и офисная техника;
- строительный мусор;
- мебель и т.д.

Эти отходы обычно вывозятся в специализированные пункты сбора, где из них удаляются опасные элементы (например, фреон из холодильников), а затем специализированные компании осуществляют их дальнейшую переработку и/или утилизацию. Еще одна схема сбора-забор таких отходов непосредственно от домашних хозяйств по определенным дням недели/месяца.

Оставшиеся отходы сортируют на следующие основные составляющие:

- бумага и/или картон;
- стекло;
- пластик;
- одежда/обувь;
- металл (упаковка, банки и пр.);
- органические отходы (пищевые отходы, отходы с садово-огородных участков, опилки и т.д.);
- остаточный мусор (те виды, которые не могут быть отне-

сены к вышеперечисленным, либо смешанные отходы, которые уже невозможно разделить).

Вышеприведенная схема сортировки является обобщенной. В зависимости от требований к сортировке бытовых отходов в той или иной стране и даже в том или ином регионе страны тщательность сортировки отходов может меняться. Так, например, в западных областях Дании бумагу требуется сортировать на газетную и остальную; в Германии, Дании и Финляндии стекло делится по цвету; в некоторых городах Швеции сортировке подлежат даже пищевые отходы (например, бумажные фильтры для кофеварки и сам кофе должны выбрасываться отдельно). В то же время в Германии совместно собираются целлофан, целлюлоза, пластик, жестяные и алюминиевые банки из-под напитков и пластиковая упаковка из-под молочных продуктов. В одном из регионов Финляндии жители должны сортировать мелкие неопасные бытовые отходы на органическую и биоразлагаемую составляющие и на остальные виды отходов. Эти две фракции собираются в пластиковые мешки разного цвета, затем производится автоматическая сортировка этих мешков на полигонах с помощью системы фотоэлементов, и органическая составляющая идет на компостирование, а неорганическая-на захоронение.

Разные виды неопасных бытовых отходов собирают в специальные отдельные емкости-пластиковые мешки (разного цвета, в соответствии с видом отходов) либо в пластиковые

контейнеры (разного цвета либо с соответствующими надписями). Контейнеры могут быть индивидуальными (для семей, живущих в отдельных домах) либо общими (для многоквартирных домов, кондоминиумов, учреждений, мест общественного пользования, промышленных предприятий и т.д.). Для отдельных видов отходов могут быть также организованы специальные пункты сбора в общественных местах. Например, в Финляндии в крупных супермаркетах установлены специальные аппараты для стеклянных бутылок и алюминиевых банок из-под напитков. В этих аппаратах происходит сортировка стеклотары по видам напитков и цвету стекла. Некоторые виды бутылок (например, винные) сразу же измельчаются и идут на переработку; некоторые виды (например, пивные) моются и используются вторично. При этом за последний вид стеклотары покупатели могут получить либо непосредственно деньги из автомата, либо талон на скидку при покупке товаров в супермаркете.

Транспортировка рассортированных отходов осуществляется специализированными транспортными средствами. Такая схема транспортировки предусматривает либо забор отдельных видов отходов в определенные дни недели/месяца, либо размещение на одной машине нескольких баков для разных видов отходов.

Переработка мусора в Европе строится в несколько этапов:

–граждане собственноручно сортируют свой мусор на ор-

ганические отходы (которые перерабатываются в компост) и неорганический мусор, который сортируется по соответствующим контейнерам (стекло, бумага, пластик, металл и не перерабатываемые отходы);

–каждый контейнер забирают в определенный, специально отведенный для этого день, дабы избежать проблем с логистикой;

–мусоровозы привозят отходы на сортировочные станции и перерабатывающие заводы, где посредством специального оборудования производится дополнительное разделение мусора: металл извлекают магнитом, на центрифуге отсеивают пластик, все остальное отбирается вручную.

Далее вторсырье идет на переработку, все, что не подлежит переработке, причисляется к вторичному энергетическому ресурсу и утилизируется на мусоросжигательных заводах.

В Нидерландах уже давно существует целая сеть перерабатывающих заводов, работающих круглосуточно. Поступающий мусор проходит сортировку, после чего отправляется в мусоросжигательную печь. Отдельно можно выделить способ сортировки: металлический мусор вылавливается магнитом, остальной–проходит термическую обработку. Энергия, производимая при переработке, направляется для отопления зданий.

Современными способами переработки Швеции удастся утилизировать более 80% отходов, а более 18% перерабаты-

вается экологическими методами.

В свою очередь, плазменная переработка мусора или высокотемпературный пиролиз твердых бытовых отходов не требует тщательной сортировки и может использоваться для любого мусора. При переработке образуется так называемый синтез-газ, который применяют для получения тепла и электроэнергии, а также образуется безопасный вторичный продукт, который прагматичные европейцы применяют для изготовления керамической плитки и других строительных материалов.

Нынешняя общеевропейская система сбора статистических данных о сокращении количества отходов пока не позволяет подробно отслеживать ситуацию с отходами во всех странах ЕС. В большинстве из них организован сбор такой информации, некоторые из них смогли организовать достаточно эффективные национальные системы учета отходов (например, Дания, Испания, Великобритания и др.).

Повторное использование продуктов и материалов подразумевает долгосрочное пользование ими во избежание покупки новых товаров. Это предполагает приобретение предметов и материалов длительного или многократного использования, починку и обновление поврежденных предметов.

В Европе довольно широкое распространение получила практика передачи старой мебели и устаревшей офисной и бытовой техники на нужды благотворительности. При этом передача может осуществляться как на безвозмездной осно-

ве, так и за небольшую компенсацию.

1.3 Переработка и утилизация отходов

В европейских странах наибольшее применение нашли следующие методы утилизации: захоронение, сжигание, компостирование и использование в качестве вторичного сырья.

Использование захоронения в качестве способа утилизации является самым экономически выгодным. Но этот метод имеет ряд недостатков:

- полигон, на котором складировается мусор, занимает большие площади земли;
- площадки, на которые будет свозиться мусор, должны быть далеко за пределами жилой зоны, заповедной зоны, мест отдыха;
- отходы, содержащиеся на этих площадках, должны иметь низкий класс опасности.

При этом нужно учитывать, что даже малотоксичные отходы в процессе своего разложения будут оказывать негативное влияние на почву и грунтовые воды. Да и сам участок земли, на котором находился полигон, не может быть позже использован ни для каких хозяйственных нужд.

Одной из наименее привлекательных альтернатив в обращении с отходами является их захоронение на полигонах без получения энергии. По данным Евростата на 2002 г., всего 4

страны в Европе: Дания, Бельгия, Голландия и Швейцария, захоранивали на полигонах менее 20% своих отходов за счет применения технологий переработки. В среднем же в ЕС захоранивается на полигонах около 2/3 всех отходов.

Захоронение отходов на полигонах предполагает не только потери ценных ресурсов, но также является причиной следующих проблем:

– выброс парниковых газов (в частности метана) в атмосферу, а также проникновение опасных жидких субстанций в подземные воды, поскольку многие полигоны не оборудованы системами сбора таких субстанций;

– сокращение емкостей полигонов.

По данным Евростата, в 8 странах ЕС потенциал полигонов будет исчерпан менее чем за 10 лет.

Среди стран ЕС: Швеция, Дания, Голландия, Бельгия, Австрия, а также Швейцария сжигают более 30% всех отходов для производства электроэнергии и тепла. По данным Еврокомиссии, в 2016 г в Европе работало 512 МСЗ, 251 из них генерировал тепло и электричество, 161 – только электричество, 94 – только тепло. Наибольшее количество заводов находится во Франции-121, Германии-96, в Великобритании-42 и в Швеции-37.

За последние два года ЕС прекратил финансирование новых мусоросжигательных заводов, так как их строительство не соответствует принципам “зеленого” восстановления.

В разных странах ЕС отношение к сжиганию отходов

неоднозначно. Тем не менее, в пользу применения этой технологии утилизации отходов свидетельствуют следующие технические данные:

- снижается потребность в площадях для захоронения;
- современные когенерационные установки позволяют утилизировать до 80% запаса энергии в отходах;
- одна тонна несортированного бытового мусора по теплотворности соответствует 1/4 т мазута;
- после сжигания отходов прекращается выброс в атмосферу метана, образующегося на объектах захоронения отходов и являющегося причиной парникового эффекта, в 20 раз более значительной, чем двуокиси углерода. По данным европейских исследователей, на территории ЕС 30-50% метана образуется на полигонах;
- отходы сжигания могут быть использованы при производстве строительных материалов; отходы сжигания органических веществ можно использовать в качестве удобрения. И то, и другое возможно при условии отсутствия в отходах сжигания опасных веществ и тяжелых металлов.

На заводе Marshwood в Саутгемптоне (Великобритания) производит электроэнергию при сжигании ТКО, не поддающихся переработке, в объеме до 165 тыс. тонн в год (495 тонн в день), рис.1.1.



Рис.1.1. Завод Marshwood в Саутгемптоне

Завод был построен в 2004 году на берегу реки Тест на границе Саутгемптона и Марш Вуда. Он находится в промышленной зоне напротив порта на расстоянии около 300 метров от жилой застройки. Сжигание мусора происходит с выработкой энергии из пара, а дымовые газы проходят очистку в скруббере и рукавных фильтрах – похожая технология используется на всех заводах компании Veolia. Завод обеспечивает электроэнергией около 22600 местных семей.

В ряде стран на полигонах применяют специальные установки для сбора и утилизации метана. Собранный газ также

используется для производства тепла/горячей воды и электроэнергии. Этот метод пока не находит широкого применения в связи с высокой стоимостью оборудования.

Метод компостирования подходит только для органического мусора. В основе этого метода – разложение веществ под действием микроорганизмов. Из преимуществ этого метода – простота, финансовая доступность, возможность использования компоста в качестве удобрения (применяется в сельском хозяйстве). Из недостатков – неприятный запах, который неизбежно сопутствует процессу гниения. Таким методом утилизируется примерно треть всего органического мусора. Но для того, чтобы его можно было безопасно применять, мусор предварительно должен быть рассортирован.

Практически во всех европейских странах широкое распространение получили технологии компостирования био-разлагаемых/органических отходов. Всего в ЕС компостированию подвергается 1/5 всех отходов. Основным стимулом для развития таких технологий стало принятие директивы по захоронению отходов. Компостирование органических отходов может происходить как непосредственно в домашних хозяйствах, так и централизованно. Непосредственно в домашних хозяйствах компостирование происходит либо просто в компостных ямах, либо с применением специальных компостирующих аппаратов. При централизованном компостировании потребители обеспечивают отдельный сбор органики, которая затем вывозится на специально

оборудованные площадки либо к силосным башням, где и происходит закладка компоста. Впоследствии такой компост используют для нужд сельского хозяйства.

В организациях и учреждениях (например, в школах), где образуется достаточно большое количество биоразлагаемых отходов и имеется подсобное хозяйство, компостирование может производиться в индивидуальном порядке. Наиболее высокий уровень компостирования биоразлагаемых отходов достигнут в Нидерландах, Бельгии, Австрии и Германии (более 50%); самый низкий – в Великобритании и Ирландии (менее 5%). В большинстве стран ЕС вывоз биоразлагаемых отходов на полигоны запрещен.

Уровень переработки в европейских странах различен. Больше всего отходов – от 30 до 50% и более, подвергаются вторичной переработке в Швеции, Дании, Швейцарии, Германии, Бельгии, Норвегии, Австрии и Нидерландах. Меньше всего, до 15%, перерабатывают Великобритания, Исландия, Португалия и Греция. Остальные страны перерабатывают от 15 до 30% своих отходов.

В целом по европейским странам объем переработанных упаковочных материалов (пластик, бумага, стекло и металл) увеличивается. Согласно изменениям, внесенным в директиву по отходам упаковки в 2004 г., в будущем страны ЕС должны будут значительно сократить объемы сжигаемых отходов и увеличить часть, идущую на вторичную переработку.

Сжигание без получения энергии является наименее привлекательным способом обращения с отходами. В настоящее время используется все меньше; предпочтение отдается сжиганию с получением электроэнергии и тепла.

К установкам по сжиганию отходов без получения энергии и тепла применяются те же требования к их безопасности, что и к когенерационным установкам.

1.4 Опыт Германии

Германия является одним из самых успешных европейских примеров борьбы с отходами. Ее жители начали раздельно собирать мусор еще в конце 1980-х годов, и сейчас в Германии сложилась система глубокой сортировки. Так, на приписанной к дому площадке должно быть как минимум три контейнера—для пищевых отходов, для пластика, пакетов и упаковок и для бумаги и картона. Стеклянные бутылки и банки—из-под вина, масла или джема—относят в отдельные общественные баки на улице. Металлические баки для стеклянной тары в Берлине—разные контейнеры для стекла разных цветов, рис. 1.2. А тару от напитков можно сдать в специальные приемники—фандоматы, установленные во всех сетевых магазинах. При этом стоимость пластиковой бутылки или банки включена в цену почти каждого напитка, и, сдав емкость, эту переплату можно вернуть. Не хочешь сдавать бутылки—попросту не получишь назад уплаченные сверх напитка деньги.



Рис. 1.2 Металлические баки для стеклянной тары в Берлине

Крупногабаритный мусор типа мебели находит свое место на свалке—туда его можно отвезти либо самому, либо при помощи грузчиков. Одежду принимают благотворительные организации, а батарейки—магазины, где для этого устанавливают специальные коробки. При этом как жители сортируют мусор у себя на кухне—это их личное дело, главное — правильно расфасовать его по контейнерам общего пользования. Штрафы за нарушение этих норм во всех федеральных землях существенно отличаются—за выкинутые в неположенном месте отходы можно заплатить от €30 до €75. А

вот оставленный у бака старый шкаф или холодильник обойдется в €50–2500. При этом если нарушителя не получится найти, то расходы за вывоз такого мусора управляющая компания потом поделит поровну между всеми квартирами в подъезде. Платит за вывоз мусора каждое домохозяйство. Стоимость может сильно варьироваться в зависимости от места проживания, числа квартир, объема и количества баков на подъезд. С учетом этих факторов управляющие компании и устанавливают тарифы. В среднем для крупных городов речь может идти о плате в €150–300 в год.

Ежегодно страна производит около 41 млн тонн мусора – примерно по 500 килограммов на человека. По разным данным, от 60 до 80% этого объема уходит на повторную переработку или мусоросжигательные заводы—для получения электроэнергии, а остальное отправляется на свалки. На рис.1.3. представлен крупнейший центр промышленной переработки отходов в Европе Lippe Plant площадью 230 га.



Рис. 1.3. Lippe Plant (Германия) – крупнейший центр промышленной переработки отходов в Европе.

Центр расположен на окраине города Люнен в 500 метрах от жилой застройки. В него входят заводы по переработке химикатов, древесины, пластмасс, промышленных отходов, электроники, а также станция компостирования пищевых отходов. Центр ежегодно получает более 980 000 тонн отходов и производит около 500 000 тонн материалов и 337 ГВт·ч энергии, треть из которой идет на поддержание работы заводов. Переработка материалов не ведет к выбросу токсичных веществ в атмосферу, а, напротив, позволяет избе-

жать выбросов более 400000 тонн парниковых газов.

Почти 15% всего сырья, которое использует промышленность Германии, получено как раз с помощью переработки. Она, кроме того, еще и оказывается выгодным бизнесом – в 2017 году оборот мусороперерабатывающей отрасли составил примерно €70 млрд, а работало в этой сфере более 250 тыс. человек.

Так, например, при переработке печатных плат из старых компьютеров на заводе в Берлине извлекают металлы – железо, алюминий, медь, никель, а также золото, палладий и тантал, рис. 1.4. Но несмотря на отлаженный механизм утилизации, и у Германии остаются нерешенные проблемы в мусорной отрасли. В основном они связаны с современной культурой нерационального потребления. Экологи утверждают, что за последние четверть века объем необязательных отходов—одноразовые столовые приборы, посуда, салфетки, упаковки и т.д.—увеличивался столь стремительно, что общество попросту вовремя не увидело проблемы.



Рис. 1.4 Переработка печатных плат из старых компьютеров на заводе

По данным немецкого Союза защиты природы (NABU), потребители стали выбрасывать в два раза больше пластиковых вилок, ложек и ножей и сразу в шесть раз больше одноразовых стаканчиков. Касается такая "расточительность" и еды – немцы за год отправляют на помойку в среднем 7 млн тонн пригодной в пищу еды, подсчитали в Штутгартском университете. Решение специалисты предлагают искать в социальной рекламе, которая рассказывала бы гражданам, что они могли бы не покупать то, что им не нужно, а жертвовать вме-

сто этого деньги на благотворительность.

1.5. Опыт Франции

Способы переработки и утилизации бытовых отходов во Франции (данные 2011 г) представлены на рис. 1.5. Во Франции довольно давно существует отдельный сбор отходов. Мусорные баки маркируют крышками разных цветов. Белая крышка обозначает стекло. Желтая – отходы, которые идут на переработку. Выбрасывать в этот контейнер мусор необходимо непременно высыпая его из мешка, чтобы рабочие смогли увидеть содержимое контейнера. В противном случае муниципальные службы не будут его вывозить. А безответственного гражданина ждет серьезный разговор с соседями, чей мусор также останется в баках. В контейнер с коричневой крышкой выбрасывают все остальные отходы, которые подлежат сжиганию или захоронению на свалках. Продукты фармацевтики – старые таблетки, упаковки от них, термометры и так далее – можно сдать в любую аптеку, чтобы токсичные вещества не попадали ни в переработку, ни на общий полигон.



Рис.1.5. Способы переработки и утилизации бытовых отходов во Франции

В некоторых местах контейнеров может быть больше. Отдельно могут стоять баки для пластиковых продуктов, картона и дерева. При этом следует помнить, что не весь пластик в принципе можно переработать.

Французские власти, чтобы облегчить населению жизнь, стараются лучше его информировать и объяснять принципы сортировки. Например, в Париже одно время была распространена система "электронных помощников", которые висели над мусоркой и после сканирования упаковки подска-

зывали, в какую именно урну ее следует опустить.

Для нестандартных вещей существуют специальные пункты, куда их нужно вывозить самостоятельно, – около 4,5 тыс. по стране. А вот за выброс таких отходов в неположенных местах грозит штраф.

Проблема мусора для Франции носит не только экологический, но также и политический характер. Основным вызовом в сфере сохранения экологии в Евросоюзе называют переработку пластмасс. В мае 2018 года Еврокомиссия обнародовала правила, по которым токсичные пластмассы необходимо заменить на альтернативные материалы. Франция в этом пока уступает своим соседям – по данным Евростата, страна перерабатывает около 25% производимых пластмасс, что в два раза меньше, чем в Германии и Нидерландах. Но власти уже запретили одноразовые пластиковые пакеты в местных супермаркетах, чтобы выполнить свое обещание по использованию только переработанных материалов на территории всей Франции к 2025 году.

Переработкой отходов в стране занимаются 300 специализированных предприятий, которые производят 2,3 млн тонн вторичного сырья ежегодно. А общий уровень переработки в стране составляет 42%. При этом с момента принятия первого закона о переработке бытовых отходов в 1975 году количество свалок в стране уменьшилось с 6 тыс. до 230, а число мусоросжигательных заводов – с 300 до 120.

Также во Франции в последние годы набирает попу-

лярность социально-ответственная концепция потребления. Она строится на четырех принципах: демократичность, общественная полезность, смешанные ресурсы и их общее использование. Например, в Париже этот подход на практике вылился в создание 15 центров по сбору, ремонту и повторной реализации различной продукции. Центры эти разбиты по категориям – текстиль, картон, спорттовары, игрушки, бытовая техника и некоторые другие.

Большая часть отходов во Франции, как и в других странах мира, приходится на крупные корпорации. Чтобы повысить ответственность бизнеса, власти предусмотрели систему крупных штрафов и поощрений в виде льгот для ответственных предприятий. За нарушение правил выброса мусора штраф предусмотрен и для физических лиц – €35. За оставленный на дороге мусор придется заплатить около €70, при этом сумма варьируется от города к городу.

Глава 2. Классификация отходов жизнедеятельности

Отходами называют вещества или предметы, образующиеся в процессе осуществления жизнедеятельности человека и не имеющие определенного предназначения по месту их образования либо утратившие полностью или частично свои потребительские свойства. Основные источники образования отходов представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Основные источники образования отходов

Основные отрасли промышленности [□]	Основные процессы образования отходов [□]	Виды промышленных отходов [□]
Горнодобывающая [□]	Добыча и обогащение полезных ископаемых [□]	Вскрышные породы, отходы обогащения, шламы [□]
Металлургическая [□]	Плавление металлов, прокат, формирование изделий [□]	Шлаки, окалина, лом металлов, циклонная пыль, [□]
Энергетическая [□]	Сжигание (уголь, древесина, бытовые элементы в ядерной энергетике, химические процессы получения энергии) [□]	Шлаки, зола, радиоактивные и химические отходы, строительный мусор [□]
Машиностроение [□]	Изготовление деталей, инструмента, оборудования и станков [□]	Металлолом, циклонная пыль, краска, окалина [□]
Химическая и нефтехимическая [□]	Многочисленные процессы получения веществ неорганического и органического состава [□]	Частицы, около 400 загрязняющих веществ, углеводороды [□]
Производство строительных материалов [□]	Производство цемента, кирпича, бетона, пластмассы [□]	Лом бетона, брак кирпичей, цементная пыль и др. [□]
Агропромышленный комплекс [□]	Удобрение полей, выпас скота [□]	Пестициды, нитраты, отходы сельского хозяйства и животноводства [□]
Бытовые (коммунальные) [□]	Отходы производственного и бытового потребления [□]	Коммунальные отходы, [□]

Предприятия, вырабатывающие неорганическую продукцию, производят разнообразные соединения калия, натрия, азота, фосфора, кальция, серы, хлора, фтора, бора, железа, хрома, титана, магния и др. Среди этой продукции особое место занимает относительно небольшой ее ассортимент, который принято относить к продукции основной химической промышленности (основного неорганического синтеза). Это неорганические кислоты (серная, фосфорная, азотная), щелочи (аммиак – NH_3 , кальцинированная сода – Na_2CO_3 , едкий натр – NaOH), соли (хлорид калия, аммиачная селитра,

фосфаты кальция, натрия, аммония и некоторые другие, содержащие азот, фосфор и калий), элементарный фосфор.

По происхождению существующие отходы классифицируют на промышленные, бытовые (коммунальные) и сельскохозяйственные, рис. 2.1. Отходы производства (промышленные отходы) – это разнообразные по составу и физико-химическим свойствам остатки, образующиеся в процессе изготовления продукции и характеризующиеся потребительской ценностью, но использование которых в материальном производстве в виде вторичных материальных ресурсов требует дополнительных технологических операций. Отработанные материалы и вещества классифицируют по агрегатному состоянию.

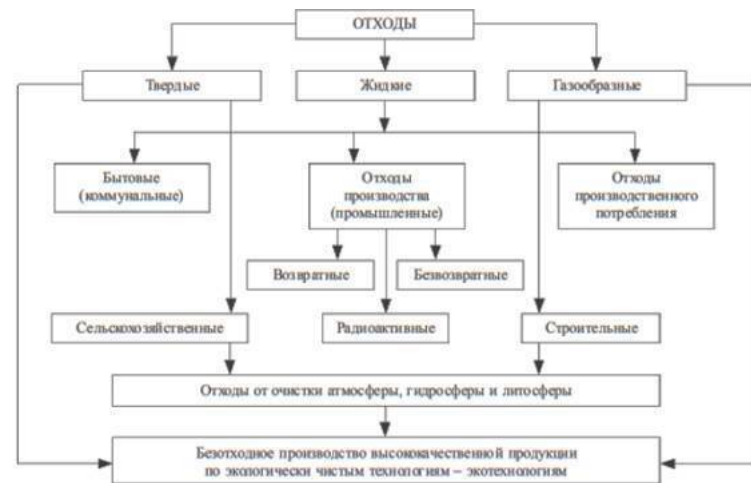


Рис.2.1. Классификация отходов по происхождению

Твердые отходы, к ним можно отнести остатки используемого сырья (измененной формы, измельченное) и переработанные материалы (древесину, пластик, резину, металл), сюда же относят огарки, зола, частицы пыли и сажи, отходы пластмасс и резины, минеральные металлсодержащие остатки после обогащения руд, органические разлагающиеся остатки.

Жидкие отходы— почти полностью состоящие из жидкой фазы и содержащие растворенные в воде или других растворителях соли, щелочи, кислоты, а также примеси взвешенных частиц. К этой группе относят вещества, которые были выделены при работе со смазочными материалами, топлива, сырья (смазки, эмульсии, синтетические масла, составы с радиоактивными свойствами); Сюда относятся также и производственные сточные воды, которые могут сбрасываться в канализацию без предварительной обработки на заводе; сточные воды, загрязненные токсичными и ядовитыми соединениями и требующие специальной обработки (воды, содержащие кислоты, щелочи, хлориды, фториды, бромиды, растворенные металлы, токсичные органические соединения и т.д.); отработанные органические растворители и органические токсичные жидкости (производство пестицидов).

Газообразные отходы— газовые выбросы промышленных печей, сушильной аппаратуры, отдувочных аппаратов, газовые выделения химических процессов и т.д. Сюда относятся различные дымы, газы, обладающие запахом, содержащие дисперсные твердые или жидкие частицы в виде тумана, а также содержащие NO_x , SO_2 , HCl , HF и др., пары органических веществ, паровоздушные смеси, загрязненные токсичными примесями.

В отдельную категорию следует также выделить отходы, получаемые в виде шламов, которые нельзя причислить ни к жидким, ни к твердым отходам. Обычно они представляют собой аморфные или мелкокристаллические массы, содержащие от 20 до 80 масс. % воды и плохо поддающиеся транспортированию без предварительной обработки (сушки, вымораживания и т.д.). Сюда относятся остатки процессов фильтрации и седиментации, шламы, получаемые при нейтрализации или специальной обработке жидких отходов, шламы или илы, получаемые в процессе очистки фекальных сточных вод. К этой категории следует отнести смолы, кислые и вязкие гудроны, остаточные нефтепродукты, получаемые в органическом синтезе.

Коммунальными (бытовыми) отходами являются предметы, утратившие полностью или частично свои потребительские свойства вследствие физического или морального износа в результате их использования населением в личном домашнем хозяйстве, в офисах, коммерческих объектах, в ком-

паниях, предлагающих услуги, а также крупногабаритный мусор и некоторые виды строительного и отходы, образующиеся на производственных объектах вследствие деятельности человека.

Отходами сельского хозяйства являются побочные продукты, образующиеся при производстве и первичной переработке сельскохозяйственного сырья. Влияние на экологию и возможности утилизации веществ зависят от их типа. Организации и частные лица, разводящие животных и птиц, являются основными источниками отходов сельского хозяйства. В подсобных хозяйствах эти вещества образуются в виде навоза (помета). Экскременты животных являются природным удобрением. Но не все продукты жизнедеятельности полезны для грунта. Свиной навоз и куриный помет в необработанном виде имеют высокую кислотность, могут навредить растениям и почвенным микроорганизмам. В экскрементах часто присутствуют антибиотики и выработавшие к ним устойчивость патогены. Первые уничтожают часто почвенную экосистему, вторые занимают освободившееся место, продолжая вредоносное воздействие.

Содержимое канализации объектов, занимающихся разведением скота (птицы) и переработкой мяса (молока) периодически попадает в окружающую среду без должной очистки. В водоемах и грунтовых водах оказываются растворенные твердые отходы, частицы крови и внутренностей забитых туш.

К отходам относят и газы, образующиеся в процессе сельскохозяйственной деятельности. Так скопления навоза выделяют метан. При правильной утилизации соединение превращается в биотопливо. Но, если навоз просто складировать в ямах, образующийся газ приравняется к отходам.

В отходы растениеводства входят стебли и листья; корни и шелуху; стоки, содержащие удобрения, гербициды и пестициды; неиспользованные газообразные выделения от скопленных отходов растениеводства – микроорганизмы в биомассе ведут к выделению метана, двуокиси углерода и азотных соединений.

Мусор делят на биологический и синтетический. К синтетическим относят: металлы, стекло, нефтепродукты (текстиль, пластмасса, резина), древесина, бумага (газеты, журналы, упаковка). Биологические отходы включают в себя: пищевые, растительный мусор, помои, кости животных.

По степени вредного воздействия на окружающую среду они подразделяются на пять классов опасности, таблица 2.2.

Таблица 2.2. Классификация опасности отходов по степени их вредного воздействия на окружающую среду

Класс опасности отхода для окружающей природной среды	Степень вредного воздействия опасных отходов на окружающую природную среду	Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды
I класс (чрезвычайно опасные)	очень высокая	Экологическая система необратимо нарушена. Период восстановления отсутствует. Примеры: ртутьсодержащие материалы, цианистый калий, оксид мышьяка и так далее
II класс (высокоопасные)	высокая	Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия. Примеры: медь хлорид (I), никель хлорид (II), свинца нитрат (II) и так далее
III класс (умеренно опасные)	средняя	Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 10 лет после снижения вредного воздействия от существующего источника. Примеры: медь оксалат (II), свинцовые оксиды, тетрахлорметан и так далее
IV класс (малоопасные)	низкая	Экологическая система нарушена. Период самовосстановления не менее 3 лет. Примеры: марганца сульфат, цинка сульфат, оксид фосфора и так далее
V класс (практически неопасные)	очень низкая	Экологическая система практически не нарушена.

Классификация промышленных отходов осуществляется также с учетом свойств материалов, которые образовались на одном из этапов производств и их можно подразделить как вторичное сырье, возвратные отбросы и невозвратимые вещества.

Вторичное сырье. Чаще всего вторсырье без обработки получают из твердых материалов. Его считают ценным, что обусловлено сохранностью свойств. Кроме того, снижаются

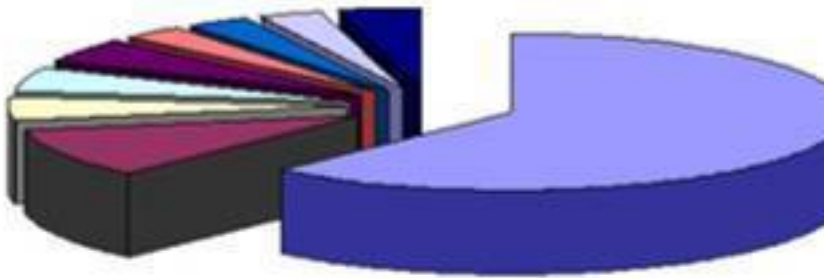
затраты на производство, так как не требуется проводить дополнительную обработку.

Возвратные отбросы. Остатки сырья или отходы, полученные на одном из этапов производства, потеряли свойства лишь частично. Однако из-за этого их уже нельзя применять для производства той же продукции в качестве вторсырья. Материалы можно использовать с целью реализации других технологических циклов.

Невозвратимые вещества. Утилизация промышленных отходов данной группы невозможна. Материалы полностью утратили первоначальные свойства, а вместе с тем форму, структуру. Их отправляют сразу на полигоны для размещения с целью захоронения.

Глава 3. Методы обезвреживания и утилизации токсичных отходов

Все опасные отходы производства характеризуются такими признаками, как: содержание в своем составе вредных для здоровья человека, животных и жизнеспособности растений, представлены на рис 3.1.



- Продукты химических и близких к ним предприятий
- Metallургия
- Добыча нефти и газа
- Metalлообработывающая промышленность
- Непроизведенные отходы
- Электротехническое и электронное оборудование
- Транспорт
- Целлюлозно-бумажное производство
- Прочее

Рис. 3.1. Основные источники опасных отходов

В России на свалки поступают отходы, в составе которых имеются особенно опасные для здоровья населения: мышьяк, никель, свинец, жидкая или в твердом виде ртуть, а также хром, отходы калия и натрия, и ряд других химически активных веществ. Кроме того, к токсичным отходам также могут отнести лекарственные и фармацевтические препараты, отходы, образующие при нефтепереработке, разведке, добыче, хранении, транспортировке нефти и нефтепродуктов, а также при чистке резервуаров, обезвреживании сточ-

ных вод, авариях. Значительную токсичность имеют промышленные жидкости, содержащие твердую фазу, дизельное топливо и нефтепродукты, а также поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Основными токсическими выбросами и стоками являются:

- соединения фосфора и ртути;
- металлоорганические компоненты;
- сернистые соединения (сероуглерод, сероводород, диоксид серы);
- фториды;
- циановодород;
- оксиды азота;
- производные хлора и непосредственно хлор;
- альдегиды;
- щелочи;
- амины;
- минеральные кислоты;
- органические растворители.

Особенно опасными токсинами являются соединения соли и тяжелых металлов: кадмия, свинца, ртути, хрома и др.

Наиболее экологически опасным канцерогеном является оксид CrO_3 , содержащий шестивалентный Cr^{6+} , переходящий при нагревании в наиболее устойчивый Cr_2O_3 , содержащий трехвалентный Cr^{3+} . Шестивалентный хром Cr^{6+} содержится в исходных материалах для производства тепло-

упоров (природные хромиты, плавленный периклазохромит), в самих шпинелидных теплоупорах, а также в поргланцементе, в который Cr^{6+} диффундирует из шпинелидных футеровок вращающихся цементобжигательных печей.

Выделяют коэффициенты геотоксичности (Тл) химических элементов по геохимическим группам. К супертоксичным (Тл = 15) относят Hg, Cd, Tl, Be, U, Rn, радионуклиды Sr и др.

Высокотоксичными (Тл = 10) являются Pb, Se, Te, As, Sb, V, F, Th, V, Co, Ni, Ru. Опасными (Тл = 5) считаются Cu, Zn, S, Bi, Ag, Ba, Mo, Os, Pt, Yn, Ge, Sr, W, Al, Li, Mn и др. В группу общетоксичных (Тл = 1) входят литофильные элементы Ti, Na, K, Ta, Rb, Ca, Si, Nb. Литофильные элементы-химические элементы, составляющие около 93% массы земной коры и около 97% массы солевого состава океанической воды.

Экологические проблемы решаются двухэтапно:

I этап – ликвидация токсичности отходов и превращение их в безопасные материалы;

II этап – применение множества обычных существующих технологий производства из полученных материалов ценной продукции с широкой областью применения и высокой эффективностью.

Комплекс работ по утилизации отходов представлен на рис.3.2.

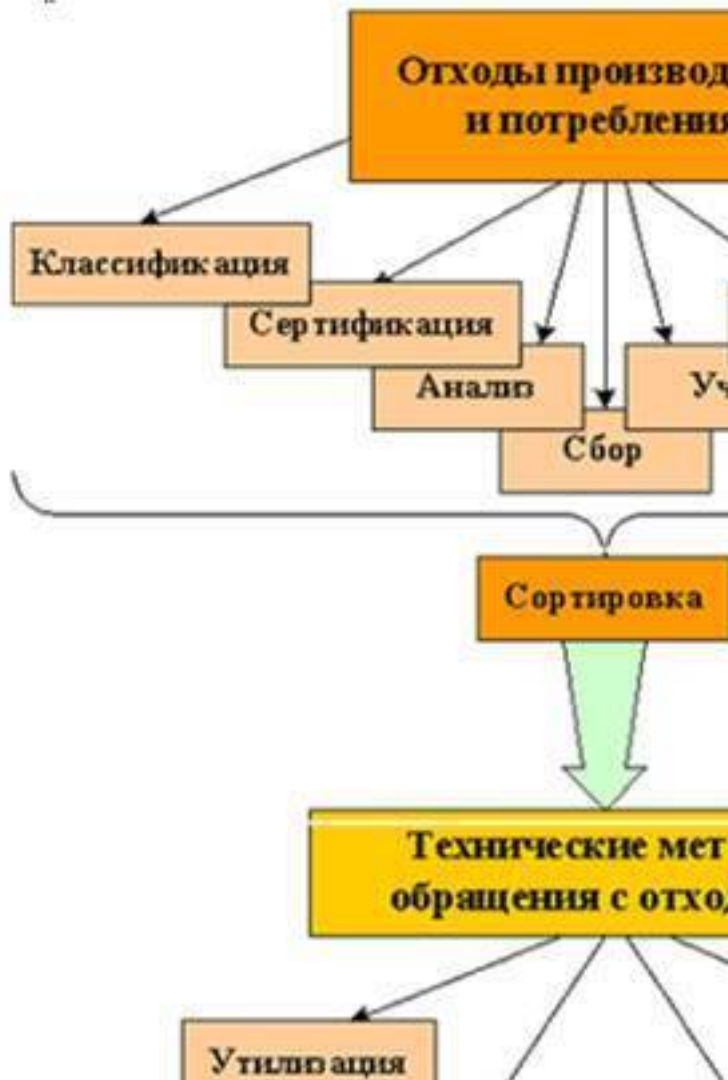


Рис. 3.2. Комплекс работ по утилизации отходов

Все отходы, которые не задействованы в дальнейшей переработке, подлежат утилизации на специально предназначенных для такой цели полигонах огромных площадей, технически оборудованных сооружениями, предотвращающими загрязнение окружающей среды.

Обезвреживание – один из возможных этапов перед утилизацией, если отходы представляют опасность и можно снизить уровень негативного воздействия для окружающей среды.

Существует несколько способов обезвреживания токсичных промышленных отходов в зависимости от их агрегатного состояния и химического состава.

В качестве обеззараживания отходов перед их утилизацией их подвергают переработке методами, которые можно разделить на следующие группы:

- термические—сжигание в печах различных типов,
- химические—экстрагирование с помощью растворителей, отверждение с применением добавок;
- физические и физико-химические – менять физическую структуру отходов с помощью силового поля, применение специально подобранных реагентов, изменяющих физико-химические свойства, с последующей обработкой на специальном оборудовании;
- биологические – микробиологическое разложение в поч-

ве непосредственно в местах хранения, биотермическое разложение.

3.1. Термические методы

Сущность термообработки заключается в сжигании горючих отходов или огневой обработке негорючих отходов высокотемпературными (более 1000°C) продуктами сгорания топлива. Эффективными считаются термические методы, при которых основным является тепловое воздействие (нагревание или окисление):

- термообработка отходов;
- уничтожение с помощью ИК-нагрева;
- уничтожение в высокоэффективном электрическом реакторе (fluid wall destruction);
- сжигание в кипящем слое (fluidized bed system);
- пиролиз;
- окисление суперкритической водой.

Аппараты для огневого обезвреживания и переработки отходов включают в себя: слоевые топки, барабанные вращающиеся печи, многоподовые печи, камерные печи, шахтные печи, топки котельных агрегатов, реакторы с псевдоожиженным (кипящим) слоем, пенно-барботажные реакторы рис.3.3.



Слоевой способ сжигания
древесных пеллет



Барабанная вращающаяся печь



Котел со сжиганием топлива
в кипящем слое

Рис. 3.3. Некоторое оборудование для сжигания твердых отходов

В зависимости от типа отходов и способа обезвреживания огневой метод подразделяют на три типа: сжигание отходов, огневой окислительный метод, огневой восстановительный метод.

Сжигание отходов, способных гореть самостоятельно (горючих отходов), – наиболее простой и надежный метод их обезвреживания. Для обеспечения устойчивого процесса горения сжигание отходов проводится при температуре отхо-

дящих газов 1200-1300°C. Данный метод обеспечивает получение ценной продукции: отбеливающая земля, активированный уголь, известь, сода и др. Химический состав промышленных отходов определяет содержание дымовых газов (SOX, P, N₂, H₂SO₄, HC1), соли щелочных и щелочноземельных элементов плюс инертные газы.

Огневой окислительный метод обезвреживания негорючих отходов заключается в том, что их вводят в поток высокотемпературных продуктов сгорания топлива. При смешении газообразного отхода с дымовыми газами происходит его нагрев и окисление горючих компонентов за счет кислорода дымовых газов или кислорода, содержащегося в отходах. Токсичные компоненты подвергаются окислению, термическому разложению и другим химическим превращениям с образованием безвредных газов (CO₂, H₂O, N₂) и твердых остатков (оксидов металлов, солей).

Огневой восстановительный метод отличается от огневого окислительного проведением процесса обезвреживания (или только стадии огневой обработки) происходит в восстановительной среде (при отсутствии свободного кислорода в печной атмосфере). Данный метод используется для уничтожения токсичных отходов без получения каких-либо побочных продуктов, пригодных для дальнейшего использования в качестве сырья или товарных продуктов. В результате образуются безвредные дымовые газы и стерильный шлак, сбрасываемый в отвал. Так можно обезвреживать газообраз-

ные и твердые выбросы, бытовые отходы и некоторые другие. Чтобы достичь хорошей степени разложения промышленных отходов, особенно галоидосодержащих, печь, предназначенная для сжигания продуктов, должна обеспечивать необходимое время их нахождения в зоне горения, хорошее перемешивание реагентов с кислородом при определенной температуре. Количество кислорода регулируется, чтобы не образовывались галогены, а полностью переходили в галогеноводороды, необходимо избыточное количество воды и как можно меньше кислорода, чтобы образовывалось меньше сажи.

Недостаток метода заключается в необходимости предварительной сортировки отходов. Они не должны содержать в своем составе соединения фосфора, галогенов и серы. В противном случае в процессе горения, а также в результате неполного сгорания будут образовываться высокотоксичные канцерогенные газовые выбросы, содержащие диоксины и фураны.

Диоксины и фураны - две структурно близкие группы полихлор органических веществ. Среди них выделяют 7 диоксинов, обладающих особенно высокой токсичностью и 10 фуранов, свойства которых близки диоксинам. Эти вещества относят к стойким органическим загрязнителям, обладают высокой стабильностью и длительным периодом полураспада, для диоксинов он составляет 7-11 лет.

Для образования диоксинов необходимо сочетание трех

условий: наличие органического углерода, наличие хлорорганических соединений и температура выше 450°C.

При нагревании хлор- и бромсодержащих органических веществ диоксины образуются в интервале температур 500-1200°C, причем максимум их образования приходится на 600-800°C.

Из общего количества хлора, который имеется в ТКО, около 50% содержится в пластмассе, до 25% в целлюлозно-бумажной продукции, а остальное в резине и других материалах.

Основным мероприятием для подавления выделения диоксинов является уменьшение выбросов органического углерода, то есть обеспечение полного его выгорания, а также контроль уровня СО как основного показателя полноты сжигания и остаточной концентрации диоксинов.

Диоксины обладают высокой термостойкостью. Эффективное разложение этих веществ происходит только при температурах выше 1250°C и выдержке в зоне обработки более 2с. Их терморазложение при меньших температурах является обратимым процессом. При охлаждении дымовых газов до 200-450°C они синтезируются вновь. В целях предотвращения образования вторичных диоксинов в зоне охлаждения отходящих газов установок по сжиганию время пребывания в интервале температур 200-450°C должно быть не более 1 с.

Эффективным является сжигание отходов в стационар-

ной и передвижной вращающейся печи. Печи вращаются со скоростью от 0,05 до 2 об/мин. Со стороны загрузки подают отходы, воздух и топливо, а шлак и золу выгружают с противоположного конца печи. В первой части печи отходы подсушивают, обычно при температуре 400°С, после чего происходят их газификация и последующее сжигание при температуре 900–1000°С.

Следует уделить несколько слов методу газификации, используемому для переработки отходов. Цель данного метода: получение горючего газа, смолы, шлака. Газификация представляет собой термохимический процесс, осуществляемый при высоких температурах. При данном процессе органическая масса взаимодействует с газифицирующими агентами, превращая при этом органические продукты в горючие газы. Газифицирующими агентами являются воздух, кислород, водяной пар, диоксид углерода, их смеси. Процесс газификации проходит в механизированных газогенераторах шахтного типа. При этом применяется дутьё: воздушное, паровоздушное и парокислородное. Преимущества газификации перед сжиганием состоят в следующем:

- использование образовавшихся горючих газов как топлива;
- использование образовавшихся смол в качестве топлива или химического сырья;
- снижаются уровни выбросов золы и сернистых соединений в воздух.

Недостатки газификации:

–при использовании воздушного и паровоздушного дутья образуется генераторный газ с низкой характеристикой теплоты сгорания, непригодный для транспортировки;

–невозможна переработка отходов крупных размеров пастообразного типа, перерабатываются только отходы дробленые и сыпучие с газопроницаемыми характеристиками.

При использовании парокислородной газификации образуется газ с хорошей характеристикой по теплоте сгорания, что дает возможность транспортировать его на большие расстояния.

В инсинераторе, действующем по принципу термической обработки в кипящем слое твердых, жидких и газообразных вредных отходов, происходит высокотемпературное окисление органических веществ струей воздуха в контролируемых условиях. Кипящий слой обеспечивается прокачиванием воздуха через твердый материал на днище первичной камеры – песок, алюминий, карбонат натрия, известь, оксиды железа, почву, специальные катализаторы и т.д. Технически опробовано несколько модификаций установки, в том числе в двухкамерном и циркуляционном вариантах. Температура обычно от 450 до 980°С и более, время пребывания в зоне обработки составляет 2 с для газов, 12-14 с для жидких и до 30 мин – для твердых отходов. Предусматривается тщательная очистка отходящих газов.

В реакторах, имеющих внутренний обогрев (вертикаль-

ные шахтного типа, с псевдооживленным слоем, барабанные вращающегося типа), в качестве теплоносителя применяют газы, но после их нагрева до 600—900°С. Эти газы не вступают в химическую реакцию с отходами (инертные и горючие газы без кислорода). Лучше всего, если при этом газ циркулирующий.

Недостатком данного оборудования считается то, что в реакторе, имеющем внутренний обогрев, в связи с применением газообразных теплоносителей увеличивается запыленность газа. Однако, внутренний обогрев конвекцией делает процесс интенсивным, позволяет уменьшить габариты реакторов в сравнении с реакторами, имеющими внешний обогрев.

В инсинераторе, действующем по принципу жидкостной инъекции (liquid injection), подача токсичных отходов в первичную камеру сгорания осуществляется с помощью насоса. Поэтому его применяют при обеззараживании жидких и не очень вязких отходов, а также некоторых взвесей. Температура в первичной камере может изменяться от 650 до 1750°С, в зависимости от характера уничтожаемых отходов, а время обработки – от 0,5 до 2 с. Производительность установок составляет обычно 7-10 т/ч. Установка была разработана фирмой «Дженерал Электрик» («General Electric») для уничтожения ПХБ, и эффективность обеззараживания в этом процессе достигает 99,9999%. Инсинератор, действующий по принципу жидкостной инъекции, неоднократно

использовался также для уничтожения диоксинсодержащих отходов.

Способ разрушения органических веществ расплавами, главным образом карбонатами натрия и калия, с одновременной продувкой воздухом известен с 1969 г. и использовался первоначально для газификации угля. Соответствующая установка для термохимической обработки высокотоксичных отходов создана фирмой «Рокуэлл» («Rockwell International Corporation, США»). Быстрота разрушения обеспечивается высокой скоростью теплопередачи от расплавленной соли к отходам. Углеводороды окисляются до углекислого газа и воды. Атомы хлора хлорорганических веществ поглощаются расплавом. Преимущество процесса – сравнительно низкая температура (порядка 800-1000°С) и отсутствие в выбросах оксидов азота. Обрабатываться могут как твердые, так и жидкие отходы с низким содержанием воды и золы. Эффективность разрушения продемонстрирована на отравляющих веществах и гербицидах. Примеси высокотоксичного диоксина разрушаются на 99,96-99,98%.

Фирма НУКЕМ (NUKEM GmbH, Германия) разработала процесс дехлорирования в атмосфере инертного газа при 600-800°С с использованием оксида кальция, фиксированного на силикагеле. Процесс происходит в электрическом реакторе с механическим перемешиванием. Время удержания хлор ароматических соединений в реакторе от 10 до 20 с. ОХДД и ОХДФ разрушаются больше чем на 99,99%.

В установке фирмы «Detox International» (США) для термической обработки газов от нагрева отходов, содержащих ПХБ, ПХДД и ПХДФ (диоксины и фураны), использован реактор с циркулирующим расплавленным алюминием (730°C). Отходы нагреваются в печи в атмосфере азота. Экзотермическая реакция токсичных газов и алюминия поддерживает температуру реактора постоянной и приводит к образованию солей и оксидов (AlCl_3 , Al_2O_3 и т.д.). Последние поднимаются на поверхность расплава и удаляются из реактора. Поскольку органические отходы не сжигаются, а химически преобразуются, метод менее энергоемок по сравнению с чисто термическим.

Фирмой «Ширко» (США) создана передвижная установка для обеззараживания отходов с помощью ИК-нагрева. Процесс предусматривает двукратную обработку. Вначале отходы поступают в первичную камеру сжигания, выполненную из углеродистой стали и выложенную несколькими слоями керамического покрытия. Они подвергаются мощному ИК-облучению электрически нагретых нагревательных элементов из карбида кремния, смонтированных над конвейером (температура от 500 до 1050°C). Отходы перемешивают, а время их тепловой обработки составляет от 10 до 120 мин, в зависимости от характера уничтожаемых отходов. Улетучивающиеся органические вещества дожигаются с помощью повторного ИК-нагрева до 1260°C , комбинированного со сжиганием в пропановом пламени (время удержа-

ния <2,2 с). Выделяющиеся газы пропускаются через влажный скруббер для отделения твердых частиц. Сконструировано несколько вариантов установки, в том числе мобильный, смонтированный на 5 трайлерах (производительность до 680 кг/ч). В газовых выбросах установки диоксины не обнаружены (эффективность обеззараживания – 99,9999%).

Следующий метод термического обезвреживания промышленных отходов – пиролиз. Схема работы пиролизной установки представлена на рис.3.4.

Существует два различных процесса пиролиза промышленных отходов: окислительный и сухой пиролиз.

Окислительный пиролиз является процессом термического распада отходов промышленности, при котором они частично сжигаются или непосредственно контактируют с продуктами сгорания топлива. Этот способ термического обезвреживания применяется для многих отходов, «неудобных» для сжигания или газификации. Это отходы вязкого или пастообразного состояния, влажные осадки, пластмассы, шламы с большим количеством золы, земля с большим количеством примеси мазута, масла и других соединений, отходы, которые сильно пылят.

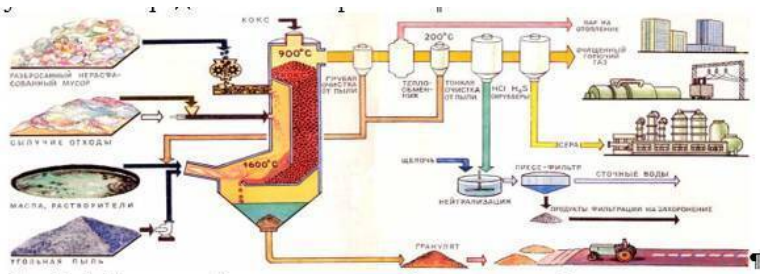


Рис.3.4. Схема работы пиролизной установки

Сухой пиролиз представляет собой также процесс термического разложения отходов, но без доступа кислорода. Вследствие данного процесса образуется пиролизный газ, имеющий высокую теплоту сгорания, продукт в жидком виде и углеродистый остаток в твердом состоянии. Данный способ термической обработки отходов высокоэффективно обезвреживает их и позволяет применять как топливо и химическое сырьё. Это способствует развитию малоотходных и безотходных технологий, рациональному применению природных ресурсов.

Способ обработки отходов методом сухого пиролиза приобретает все большее распространение. Сегодня это чуть ли не самый перспективный способ утилизации твердых отходов органического содержания, для которого характерно выделение ценных компонентов из данных отходов.

Различают низкотемпературный (450-550°C), среднетем-

пературный (макс. 800°C) и высокотемпературный пиролиз (900°C- 1050°C) в зависимости от температуры, при которой протекает процесс.

Процесс пиролиза отходов осуществляется в реакторах, имеющих внешний и внутренний обогрев. Внешний тип обогрева применяют в реакторах, имеющих исполнение в виде вертикальных реторт, или в барабанных реакторах вращающегося типа. В реакторах пиролизные газы не разбавляются теплоносителями, сохраняя за счет этого высокую характеристику теплоты сгорания. Газ, получаемый в реакторе с внешним типом обогрева, содержит минимум пыли, ибо он не перемешивается с газовым теплоносителем, что является положительным моментом данного оборудования. Обычно теплоноситель пропускается через слой отходов с содержанием мелкодисперсных частиц.

Разрушение органических компонент высокотоксичных отходов, достигаемое вместо окисления электрическим пиролизом, заложено, в частности, в конструкцию усовершенствованного электрического реактора фирмы «Хубер» (США). Реактор представляет собой вертикальную электрическую камеру из пористого графита, вокруг которой установлены стержневые электронагреватели, а вся система термоизолирована. Энергия излучается электрически нагретыми угольными электродами и передается на обрабатываемые отходы через пористый каркас реактора. Для предотвращения контакта обрабатываемых отходов со стен-

ками реактора в него через поры графита непрерывно подается инертный газ (азот). Температура в зоне термообработки поддерживается на уровне 2200-2500°C, время обработки – миллисекунды. Отходы из первой камеры направляются в две последовательно размещенные камеры дожигания (температуры 1370 и 540°C соответственно), после чего твердые отходы поступают в контейнер, а газы – на дополнительную очистку в циклоне и в адсорбере с активированным углем. Разработаны стационарный и подвижный варианты установки производительностью 20-50 тыс. т в год по ПХБ-содержащим отходам. ПХБ -полихлорированные бифенилы–класс химических ароматических соединений, содержащих в молекуле от одного до десяти атомов хлора. Основные продукты, образующиеся при обработке почв, зараженных диоксинами, – водород, хлор и HCl. В установке могут обрабатываться только материалы, однородные по фазе (не шламы). Эффективность обеззараживания от: ПХБ – 99,9999%; диоксинов —>99,999%.

Следующее направление, основанное на применении низкотемпературной плазмы, используется при утилизации опасных отходов. Плазмотермическая технология предназначена для обезвреживания твердых промышленных и бытовых отходов любой степени опасности.

Принцип работы плазмотрона и его конструкция довольно просты и состоят в следующем: сам процесс с применяемой технологией происходит в камере с двумя электро-

дами: катодом и анодом. Они, как правило, изготавливаются из меди, иногда бывают полые. При определенном давлении в камеру загружаются отходы, кислород и топливо в заранее установленных объёмах. Добавляют водяной пар. Можно применять катализаторы. Давление и температура в камере постоянные. Общий принцип плазменной обработки отходов заключается в термическом разложении с неполным окислением под воздействием водяного пара, кислорода воздуха и давления. Чтобы исходное сырьё не сгорало, нужно контролировать поступление окислителя – воздуха. На выходе из установки образуется смесь водорода, монооксида углерода с примесями других горючих газов. Получаемый синтез газ служит топливом для электростанций, сырьём для получения метанола и высших спиртов, аммиака, азотных удобрений, синтетического моторного масла и горючего, рис.3.5.

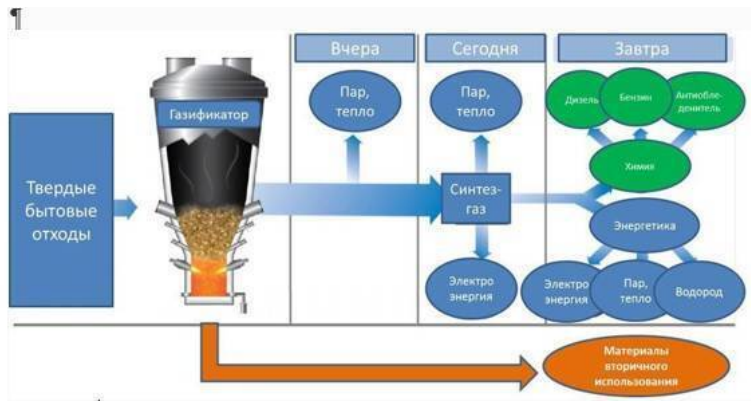


Рис.3.5. Продукты плазменной переработки отходов

Плазменная переработка отходов с электродуговым плазмотроном представлена на рис. 3.6.

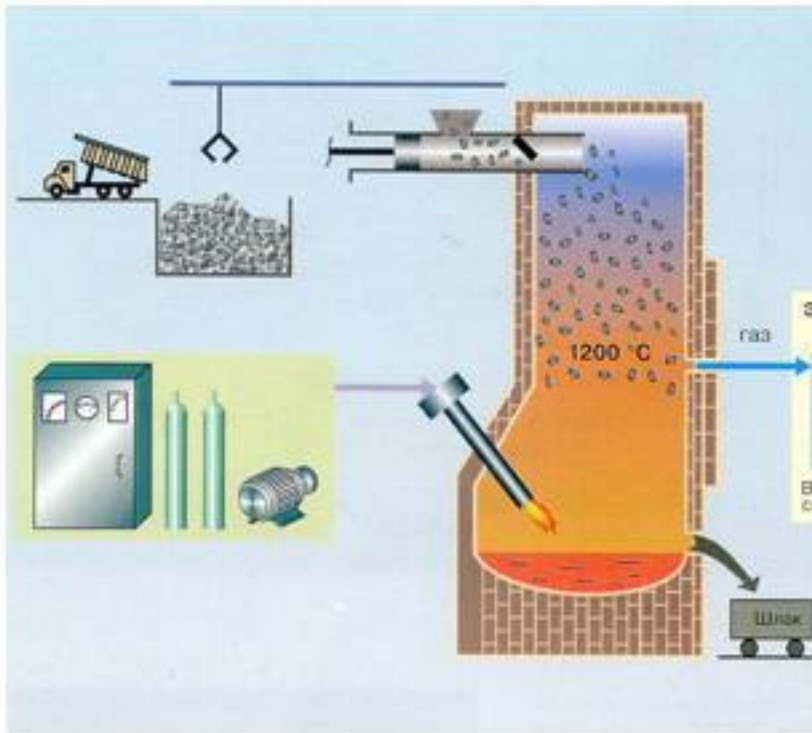


Рис.3.6. Схема с электродуговым плазмотроном

Твердые бытовые отходы при этой технологии обрабатываются потоком плазмы с температурой 1200°C и выше. При такой температуре смолы не образуются, а токсичные отходы разрушаются.

Перед началом плазменной переработки бытовые отходы предварительно готовятся и измельчаются, после чего загружаются в приемный бункер. Оттуда сырье посредством шне-

кового загрузочного устройства поступает в непосредственно в реактор. Там отходы движутся сверху вниз, поочередно проходя этапы сушки и пиролиза. Необходимая температура протекания процесса поддерживается за счет работы плазмотрона, который получает питание от электрической сети. Энергия электрической дуги плазмотрона превращает газ в плазму с высокой теплопроводностью и теплоемкостью. Проходя через плазму, органические соединения распадаются на углекислый газ, водяной пар, азот, водород, монооксид углерода и водяной пар. Образовавшаяся газовая смесь поступает в верхнюю часть реактора, где отдает свое тепло твердым отходам. За счет этого и происходит их термодеструкция. Для накапливания шлака предназначена нижняя часть реактора. Обычно там он находится в виде расплава и должен периодически удаляться специальным устройством.

Обезвреживание отходов плазменным методом может выполняться двумя путями:

- посредством ликвидации особо опасных высокой токсичности отходов плазмохимическим методом;
- переработка отходов плазмохимическим методом, чтобы получить товарный продукт.

Разложения в плазмотроне вредных продуктов (полихлорбифенилов, метил бромидов, фенилртутьацетатов, хлор- и фторсодержащих пестицидов, полиароматических красителей) происходит почти полностью. В результате разложения образуются CO_2 , H_2O , HC_1 , HF , P_4O_{10} по

следующим технологиям:

- конверсия отходов в воздушной среде,
- конверсия отходов в водной среде,
- конверсия отходов в паровоздушной среде,
- пиролиз отходов при малых концентрациях.

В зависимости от способа переработки отходов можно оптимизировать работу плазмотрона для отходов с разным химическим составом. При использовании плазменного метода для переработки отходов в восстановительной среде получают ценную товарную продукцию:

- из жидких органических хлорсодержащих отходов получают ацетилен, этилен, HC_1 и продукты на их основе;
- в плазмотроне с водородом при обработке органических хлор- и фторсодержащих отходов получают газы с содержанием 95 – 98% по массе HC_1 и HF .

В целях удобства применяют брикетирование отходов в твердом виде и нагрев пастообразных отходов, чтобы перевести последние в жидкую фазу.

Создано несколько эффективных технологий обеззараживания высокотоксичных жидких отходов методом высокотемпературного пиролиза в пироплазме. В методе, разработанном фирмой «Вестингауз» (Westinghouse Electric Corporation, США), обрабатываемые отходы вводятся непосредственно в плазменную дугу ($> 5000^\circ C$). Жидкие отходы поступают прямо в плазму. При этом сложные органические молекулы распадаются до атомов (время пребывания

в зоне атомизатора порядка 500 мкс), рекомбинирующих в дальнейшем в простейшие молекулы – H_2 , N_2 , CO , CO_2 , HCl , этилен, ацетилен и т.д. (время – около 1 с, температура 900-1200°C). С помощью этой технологии удается обрабатывать не только жидкие отходы, но и 40%-ные тонкие суспензии твердых веществ.

В канадский плазмотрон ПХБ (Арохлоры 1254 и 1260) вводили в виде раствора в CCl_4 и этаноле (1:1) со скоростью 1-2 л в мин. Температура в зоне плазмы составляла 2500°C. Продукты разрушения после охлаждения до 900°C обрабатывались в скруббере водой и $NaOH$. Эффективность разложения ПХБ 99,9999999%.

По мнению специалистов, пиролиз в плазме может быть широко использован для разрушения многих видов токсичных отходов. В США сконструированы оба варианта установки – стационарный и передвижной, более портативный. Производительность последнего 8-10 л отходов в мин. Разработан вариант установки для обработки почв. В некоторых случаях более важно не разрушение, а стабилизация диоксинов в промышленных отходах, в том числе отверждение (например, путем стеклования). Среди термических технологий в их числе может рассматриваться технология высокотемпературной обработки загрязненных почв непосредственно на месте (технология ISV, т.е. *in situ vitrification*). Первоначально она была разработана для объектов, загрязненных трансурановыми элементами. Метод обеспечива-

ет пиролитическое разложение *in situ* всех органических веществ загрязненных почв, включая ПХБ, пропусканием электрического тока между помещенными в нее электродами. При достигаемых в этом процессе условиях (температура порядка 2000°C, электрическое напряжение около 4000В) органические вещества пиролизуются и мигрируют к поверхности, где догорают в присутствии кислорода. Весь объем основного вещества почвы, находящейся между электродами, после охлаждения превращается в стеклообразную массу с вплавленными в нее неорганическими соединениями, в том числе металлами. Газы, образующиеся в процессе стеклования, собираются и направляются на обеззараживание. Глубина обработки почвы пока не более 13 м, причем их влажность может ограничить эффективность процесса. В США разработчиком этой системы является фирма «Batelle Pacific Northwest Laboratories» (PNL). Данные полномасштабной проверки технологии на диоксинсодержащих почвах пока не известны.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.