Монографии, изданные в издательстве Российской Академии Естествознания

http://www.monographies.ru/ru/book/section?id=8042

Тулохонова А. В., Уланова О. В.,

1.4. Обзор наилучших доступных технологий утилизации ТБО

В мировой практике термин «наилучшие доступные технологии» «Best available techniques» был впервые введен на законодательном уровне европейской Директивой 96/61/ЕС Совета ЕС от 24 сентября 1996 г. «О комплексном предупреждении и контроле загрязнений».

В работах зарубежных авторов [23–26] на протяжении почти четверти века, в том числе и до принятия Директивы 96/61/ЕС, существуют различные толкования термина «Best available technologies». Это связано с их попытками определить прогрессивность той или иной технологии по сравнению с другими, опираясь на различные критерии. В целом все авторы сходятся в понимании термина, разница состоит в учете тех или иных факторов, определяющих «совершенство» технологии. Вначале «наилучшая доступная технология» означала наилучшую достижимую из современных технологий, вне учета традиционного экономического анализа «затраты-выгоды».

В европейских документах конца XX века существовал термин «Best available technology, not entailing excessive costs», то есть «наилучшая доступная технология, не влекущая чрезмерных затрат» [27].

В российском правовом поле под определение понятия «наилучшая доступная технология» (НДТ) подпадают ресурсосберегающая, малоотходная, безотходная технологии, а также существующие (имеющиеся) технологии, способствующие охране окружающей среды, восстановлению
природной среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов, предусматривающих минимально возможные расходы сырья, материалов, энергетических и иных ресурсов, а также минимальные объемы образования отходов производства и потребления на единицу выпускаемой продукции, что значительно расширяет спектр применения понятия «наилучшая доступная технология» в российском экологическом праве. Таким образом, понятийная определенность ключевой категории «наилучшая доступная технология» противоречива и не гармонизирована с нормами международного права. [28, 29, 87].

Более точное понятие закреплено в национальном стандарте ГОСТ Р 54097–2010 «Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Методология идентификации», разработанном на основе директивы ЕС. Таким образом, термин «наилучшая доступная технология» может быть охарактеризован как технологический процесс, технический метод, основанный на современных достижениях науки и техники, направленный на снижение негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду и имеющий установленный срок практического применения с учетом экономических, технических, экологических и социальных факторов [32].

Сегодня «наилучшие доступные технологии» трактуют как современный инструмент снижения негативного воздействия на окружающую среду. А опыт европейских и других зарубежных стран показывает, что применение НДТ позволяет перейти на более экологически и экономически эффективные методы технического регулирования и нормирования загрязнения окружающей среды. [29].

Справочники НДТ играют важную роль в деле информирования соответствующих лиц, принимающих решения, относительно наилучших технико-экономических решений для повышения природоохранных показателей промышленности. Зарубежные специальные технические справочники по НДТ (BREF) содержат свод информации о современных установках, в том числе в сфере обращения с отходами. В справочники BREF на основе всестороннего анализа включаются опробованные в различных странах и получившие практическое подтверждение своей эффективности установки и технологии. В России в рамках реализации проекта ЕС «Гармонизация экологических стандартов (ГЭС-I,II)» подготовлен справочник НДТ по обращению с отходами (в 3 частях), который включает в себя обращение с отходами различными методами, а также организационно-техническую и эколого-экономическую информацию, адаптированную для применения в Российской Федерации [33].

Вопрос выбора НДТ является ключевым при внедрении технологического нормирования. Выбираемая наилучшая доступная технология для интегрированной системы управления отходами должна соответствовать следующим основным требованиям:

● оправданность применения данной технологии с точки зрения охраны окружающей среды, то есть минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду;

● соответствие технологии новейшим отечественным и зарубежным разработкам;

● экономическая и практическая приемлемость данной технологии для данного населенного пункта.

В целом, наилучшие доступные технологии, применяемые в сфере утилизации ТБО возможно разделить на следующие группы:

1. Подготовка и извлечение вторичного сырья:

● Механизированная покомпонентная сортировка ТБО (стеклобой, макулатура, пластик, упаковка, КГО)

● Биотермическое аэробное компостирование

● Анаэробное сбраживание (биохимическая ферментация ТБО)

2. Стабилизация и предварительная обработка отходов

● Механико-биологическая обработка отходов

● Сушка отходов за счет солнечной энергии

3. Термическое обезвреживание ТБО

● Сжигание

● Газификация

● Пиролиз

4. Полигонное захоронение ТБО

● «Полигон-биореактор» (полигон с «принудительным» увлажнением и орошением)

● Полигон с аэробной стабилизацией отходов

● Полигоны с системой дегазации

● Полигон с управлением фильтрационными водами

● Полигон с аэробной и анаэробной стабилизацией отходов (semi-landfill)

Вышеперечисленные технологии получили практическое подтверждение эффективности их применения в различных странах [34].

1.4.1. Подготовка и извлечение вторичного сырья

Механизированная покомпонентная сортировка ТБО

Комплексная сортировка отходов включает процессы раздельного сбора в местах образования отходов (например, разделение всего потока отходов на две составляющие «влажные» и «сухие» отходы; разделение всего потока на несколько фракций и т.д.), пункты приема вторичных материальных ресурсов и непосредственно мусоросортировочные заводы (комплексы). В последних ТБО подвергаются профессиональной сортировке по размерам и материалам, специально обученным персоналом или полностью автоматической системой сортировки. После чего пригодное для вторичного использования сырьё измельчается, пакетируется и отправляется на рециклинг.

Главным направлением сепарации смешанных ТБО является механизированная покомпонентная сортировка в промышленных условиях. Механизированная сортировка часто используется для разделения несортированных отходов, а также для повторной отсортировки собранных от потребителей отходов с целью улучшения качества твердых отходов как исходного сырья для его последующей переработки.

Различные вопросы, связанные с изучением механизированной сортировки отходов в промышленных условиях освещены в трудах зарубежных ученых Tabasaran (1994), Bilitewski (1985), Rotter (2001), Mönkeberg (2001), Kost (2001), и др., а также в работах

отечественных исследователей Шубов Л.Я. и др. (2009), Горох Н.П. (2006), Гонопольский А.А., (2011), Гонопольский А.М. (2012), Доронкина И.Г. (2012) и др.

Обобщение опыта промышленной практики сортировки ТБО показывает, что качество выделяемых при механизированной сортировке продуктов, за исключением металлов, ниже, чем при ручной
сортировке.

Процессы механизированной сепарации ТБО, использующие естественные или искусственно усиленные различия в физических свойствах разделяемых компонентов, основаны на законах движения этих компонентов в разделительной среде под воздействием сил, возникающих в зоне сепарации. Сортировка таких отходов выполняется на основе отличия плотности отходов, их размера, электрических или магнетических свойств. Процессы, которые могут быть использованы для покомпонентной и пофракционной сортировки ТБО, в основном известны и применяются при обогащении руд или другого минерального сырья: гравитация, флотация, магнитная и электрическая сепарация, аэросепарация и др.

При обогащении ТБО в качестве среды разделения используют воду («мокрые процессы») или преимущественно воздух («сухие процессы»). Наиболее приемлемы «сухие» способы переработки ТБО. Их преимущества – отсутствие воды и загрязненных сточных вод, очистка и удаление которых обычно решаются с трудом и требуют больших затрат; отсутствие резкого неприятного запаха; лучшее состояние бумажного волокна и меньшее его загрязнение; рентабельность транспортировки выделенных фракций отходов на дальние расстояния (при «мокром» способе разделения требуется дополнительная сушка).

Основным процессом, используемым для извлечения макулатуры (и одновременно для разделения ТБО на две фракции – легкую и тяжелую), является аэросепарация. Черные металлы как сильномагнитные вещества извлекают магнитной сепарацией. Для выделения из ТБО цветных металлов используют электродинамическую сепарацию, а также флотацию и гравитацию. Полимерную пленку отделяют от макулатуры электросепарацией. Специальные методы обогащения разработаны для извлечения текстильных компонентов, для выделения из магнитного концентрата оловосодержащих компонентов и др.

Сортировочные устройства обычно выполняют следующие действия:

● отсеивание;

● уменьшение размеров;

● уплотнение;

● отделение по плотности или магнетическим свойствам (табл. 1.3).

Число обогатительных операций, их вид и порядок подбора в технологическую линию зависит от морфологического и гранулометрического состава, влажности отходов, определяется задачами сортировки в каждом конкретном случае и закономерностями обогащения сырьевых материалов.

Таблица 1.3

Процессы механизированной сортировки отходов [14]

Процесс	Результат
Грохочение (грохоты, вибросито)	Отсеивание примесей, удаление крупногабаритных и нестандартных предметов
Измельчение (мельницы, измельчители, дробилки)	Удаление примесей, уменьшение размеров для всех видов отходов
Разделение (циклоны, электрические сепараторы и магнитные сепараторы, инфракрасные столы)	Отделение железосодержащих отходов и разделение отходов разной плотности
Влажное разделение (гидроциклоны)	Отделение стекла, алюминия, пластика
Компактирование (пресс)	Упаковка в кипы, прессование для эффективной транспортировки, хранения материалов. Применяют для бумаги, картона, пластмассы, текстиля, алюминиевых банок.

В настоящее время в различных странах действует несколько сотен заводов, применяющих сортировку ТБО (извлечение металлов, легкой фракции, стеклобоя и др.). Сортировка сама по себе, как самостоятельная операция, не решает задачу санитарной очистки города и оптимальной переработки ТБО: выделяемые компоненты (за исключением металлов) сбываются с трудом, либо требуют создания специальных производств для их переработки, значительная часть отходов не утилизируется и подлежит удалению на полигоны. Вместе с тем важным преимуществом сортировки ТБО является возможность выделения из них тех компонентов, которые в процессе дальнейшей переработки (например, методом сжигания или компостирования) могут угрожать здоровью людей или не удовлетворять требованиям процессов дальнейшей обработки [35].

Биотермическое аэробное компостирование

Метод механизированного биотермического компостирования в мировой практике начали применять в двадцатые годы, когда была доказана возможность обезвреживания ТБО за 20...30 сут в аэробных условиях. Разработанные в тридцатые годы биотермические барабаны превратили аэробное биотермическое компостирование в широко применяемую промышленную технологию обезвреживания и переработки ТБО.

Масса органических отходов, которая разлагается в результате активности микроорганизмов (пищевые отходы, зеленые садовые отходы, отходы древесины, ил сточных вод и др.), может быть переработана, используя управляемые биотехнологические процессы, в которых происходит частичное или полное преобразование биологически разлагаемых веществ, – биоконверсация. Оптимальные условия для развития микроорганизмов и ускорение разложения массы отходов в этих процессах обеспечивают контроль и оптимизация соответствующего температурного режима, влажности, кислорода, pH и других параметров.

Существенный фактор для успешного хода процессов – свойства массы отходов и возможная концентрация токсических примесей. Методы биологической переработки позволяют уменьшить объем отходов, контролировать появление патогенов, меняют физические свойства отходов и в то же время создают пригодные продукты, таким образом значительно уменьшая количество захораниваемых отходов. Выделяют несколько процессов биологического разложения, из которых более всего используют аэробные процессы, которые в основном способствуют компостированию массы отходов и анаэробные процессы, которые используются для получения биогаза [14].

Фундаментальные теоретические положения и практические рекомендации по применению и оптимизации технологий компостирования изложили в своих научных трудах зарубежные и отечественные исследователи: Krauß und Brunner (1989), Sabery (2004), Binner (2006), Lechner. и Humer (2000), Вайсман Я.И., Рудакова Л.В. (2001), Миронов В.В. (2003), Тупицына О.В. (2006), Петунов С.В. (2006), Московец А.Л. (2006), Ярлыченко С.А. (2008)и др.

Компостирование – аэробный метод переработки, в процессе которого органические вещества при оптимальных условиях воздуха и влажности превращаются в похожий на гумус продукт – компост. Компост образуется как результат частичного разложения отдельных продуктов, которые содержат органическое вещество и неорганические балластовые вещества. Его используют в сельском хозяйстве, в садоводстве и в формировании ландшафтов как альтернативу для торфа. Схема образования компоста показана на рис. 1.4.

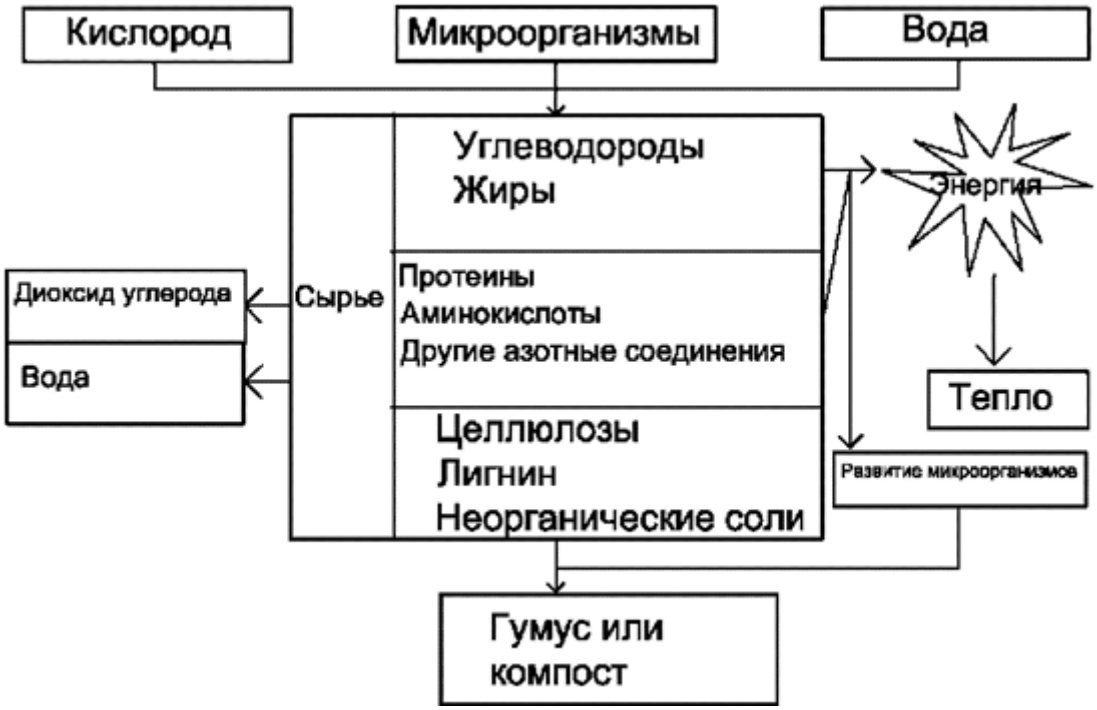

Рис. 1.4. Схема компостирования [14]

В процессе компостирования выделяют четыре фазы: 1 – фаза подогрева почвы; 2 – фаза аэрации, 3 – фаза структурирования. 4 – выдержка компоста. Компостирование производится открытым способом, либо закрытых биореакторах. Для компостирования открытым способом используют открытые ямы (траншеи), статические или аэрированные кучи. Последние являются самыми распространенными. При этой технологии формируют трапецеидальные кучи 1,5–2 метра в высоту, в которые складывают сырье (размельченные

и смешанные отходы) компоста и которые размещают в направлении правящих ветров. Их периодически перемешивают, чтобы обеспечить оптимальные условия воздуха и влажности. Контроль температуры при оптимальном процессе обеспечивает более эффективное уничтожение патогенов и более быстрое разложение массы компоста, даже за 3–4 месяца.

Для производства компоста в промышленных условиях широко используют открытые кучи или кучи, которые покрывают пленкой или брезентом, а также реакторы с подводом воздуха.

Чтобы ускорить процесс компостирования и обеспечить оптимальный ход процесса, могут быть использованы биореакторы закрытого типа. В биореакторах для ускорения процессов разложения отходы перемешиваются, дополнительно подводится воздух. Во время процесса переработки поддерживаются оптимальные параметры разложения: определенная влажность, температура, количество кислорода, pH, количество фосфора и азота, поддерживаются определенные соотношения C:N, C:P и C:H. Обеспечение этих условий дает возможность получить качественный компост за очень короткий срок, сокращая процесс компостирования до нескольких недель [14].

Переработка твердых отходов в компост – достаточно совершенный метод их обезвреживания и последующего использования. Основными преимуществами применения технологий компостирования в обработке отходов являются: возврат имеющихся в отходах питательных веществ растений в оборот экосистемы; сокращение количества размещаемых биологически разлагаемых компонентов отходов, одновременное полезное использование других органических отходов продуктов в компосте (листья, трава, навоз, очистной ил коммунальных вод и др.). Тем не менее, общая доля перерабатываемых отходов компостированием остается небольшой. К примеру в Европе с получением компоста перерабатывают около 2 % отходов. В СНГ было так же построено ряд компостных заводов, но практически все они производят компост низкого качества. Основной недостаток данного метода в том, что отходы в России не проходят должной первичной переработки и конечный продукт может содержать соединения тяжелых металлов, химически опасные вещества и пр [35].

Анаэробное сбраживание (биохимическая ферментация ТБО)

Другой биологический метод промышленной переработки ТБО – получение и утилизация биогаза, образующегося при анаэробном разложении органических компонентов ТБО – чаще всего используется непосредственно на полигонах захоронения (в США, например, имеется около 80 установок по сжиганию метана, получаемого за счет сбраживания отходов на полигонах). Вместе с тем в Германии и Японии разработана технология получения биогаза из органической фракции, выделенной из ТБО при их обогащении на специальных заводах. Возможность применения анаэробной ферментации органической фракции ТБО следует учитывать в тех случаях, когда имеется практическая потребность в биогазе (с учетом его невысокого качества). Анаэробное разложение обычно используют для смешанных видов отходов, смешивая бытовые отходы с другими соответствующими отходами.

Операции по обработке отходов, основанные на принципе анаэробного сбраживания или ферментации, следует рассматривать в качестве элемента, дополняющего компостирование, но они отличаются тем преимуществом, что при них производится биогаз и их реализация требует, как правило, меньше места и связана с меньшими ограничениями в отношении исходного материала. Анаэробное сбраживание может

поэтому применяться как самостоятельный процесс для обработки биологических, по возможности отдельно собираемых отходов, но оно может также выступать неотъемлемой составной частью механо-биологической обработки смешанных остаточных отходов [36].

В работах Кадысевой А.А. (2007), Костромина Д.В. (2010) приведены исследования повышения эффективности анаэробных методов обработки органосодержащих отходов. В работе Сваловой М.В. (2009) показана возможность утилизации птичьего помета на основе разработки и применении биогазовых установок.

В анаэробной или бескислородной технологии для переработки биологической массы используют разные бактериальные группы, которые постепенно в трехстепенных процессах (гидролизе, ферментации и образовании метана) разлагают высокомолекулярные органические соединения до простых конечных продуктов – метана и углекислого газа (рис. 1.5).

Конечный продукт – биогаз – источник энергии, популярность которого в последние пятнадцать лет в государствах Европейского Союза значительные возросла в связи с распространением использования неисчерпаемых источников энергии. Биогаз, главным образом, состоит из метана (CH_4) и двуокиси углерода (CO_2). В зависимости от качества сырья и обрабатывающей технологии, содержание метана в биогазе варьируется от 55 до 75 % , однако, в отдельных случаях до 95 %. Другие существенные составные части биогаза – двуокись углерода 30–40 %, водород 5–10 %, азот 1–2 % и сероводород < 1 %.

Получение биогаза в анаэробном процессе происходит в бескислородной среде, поэтому для его реализации необходим закрытый резервуар: специально сконструированный стационарный реактор или изолированные энергетические ячейки на полигоне отходов. Чтобы обеспечить производство биогаза на промышленном уровне необходимо сложное, комплексное производство, которое состоит из системы аккумулирования биомассы, реактора биомассы (оборудование переработки) и системы аккумулирования и очистки биогаза.

Рис. 1.5. Схема анаэробных процессов [14]

Преимущества анаэробных технологий заключаются в возможности производства биогаза и использовании остаточных продуктов разложения в качестве удобрения. К недостаткам метода можно отнести высокие требования к качеству исходного сырья, отходы не должны содержать примесей и загрязняющих веществ, высокую стоимость осуществления процессов анаэробного разложения, что связано с необходимостью применения большего числа реакторов большой емкости [37].

1.4.2. Стабилизация и предварительная обработка ТБО

Механико-биологическая обработка отходов

Механико-биологическая обработка отходов нашла лишь в последние годы применение в качестве метода обработки, позволяющего наряду со сжиганием отходов или в качестве альтернативы сжиганию значительно уменьшить объем потока отходов, направляемых на захоронение, и, в частности, свести до минимума объем биологически реакционноспособных веществ в этом потоке отходов. Эта технология объединяет на многих стадиях процесса рекуперацию веществ для рисайклинга, а также энергетическое использование и/или стабилизацию биологически разлагаемой фракции перед захоронением.

Механико-биологическая обработка отходов является общим понятием для всех концепций, предусматривающих обработку отходов комбинацией механических и биологических процессов, включая технологии с обратной последовательностью процессов. Основными отличительными признаками различных концепций являются последовательность важнейших стадий процесса и цель биологической стадии обработки. Местонахождение основных этапов процесса в общей технологической цепочке

ориентируется либо на концепцию «сплиттинга», либо на идею «стабилизации». В случае «сплиттингового» варианта сначала происходит механическое разделение общего потока исходных материалов на пригодные к различной утилизации, в определенных случаях используемые для энергетических целей или подлежащие дальнейшей биологической обработке фракции. В качестве стадии биологической обработки могут применяться методы разложения или брожения или же комбинации отдельных элементов обоих методов. При применении метода анаэробного сбраживания в качестве биологической ступени обработки основное внимание в ходе конфигурации процесса уделяется оптимизированному производству биогаза. При применении метода разложения в случае смешанных остаточных отходов основная задача заключается в получении биологически стабилизированного или же освобожденного от вредных веществ и пригодного к энергетическому использованию материала.

При подходе с позиций «стабилизации» отходы в полном объеме подвергаются биологической обработке. Цель заключается в биологической сушке и максимальной гигиенизации отходов до последующего механического отделения негорючих составных частей. Остающийся поток материала может использоваться в качестве так называемого RDF-топлива для производства энергии на соответствующих установках для сжигания.

Механико-биологическая обработка отходов не является методом окончательного устранения отходов, так как получаемый при этом остаток должен подвергнуться дополнительным операциям в форме полигонного захоронения или сжигания [36].

Сушка отходов за счет солнечной энергии

Для сокращения объема и повышения теплотворной способности ила сточных вод и отходов с высоким содержанием воды и биогенных компонентов часто используют метод сушки отходов с использованием солнечной энергии. Сушка производится в цехе с прозрачной кровлей и, как правило, со стеновым ограждением. Отходы разогреваются энергией солнечного излучения, а атмосфера в цеху способствует переходу влаги в воздух. В целях повышения эффективности сушки отходы подвергаются разрыхлению и ворошению. Солнечная энергия разогревает отходы и воздух в помещении, ускоряя процесс перехода влаги из отходов в воздух. Для интенсификации процесса сушки применяется техника разрыхления и ворошения отходов. Сушка с использованием солнечной энергии может дополняться отопительными системами. Как правило, установка работает в периодическом режиме сушки. Входящим материалом являются: жидкий ил с содержанием сухой массы 1–10 %; обезвоженный ил с содержанием сухой массы 10–40 % (как правило, более 20 %). На выходе содержание сухой массы составляет 50–90 %; потери от биологического разложения практически отсутствуют [36].

1.4.3. Термическое обезвреживание ТБО

Термическое обезвреживание ТБО или их энергетическое использование широко применяется в качестве важного составного элемента реализации современной интегрированной концепции управления отходами.

Термические способы предусматривают тепловое воздействие на отходы, которое приводит к изменению их первоначального состава. Виды термического воздействия: сжигание, газификация, пиролиз, нагревание на воздухе, в вакууме и т.д.

Наибольшее распространение получили первые три метода. Их существенное отличие друг от друга заключается в разной степени окисленности атмосферы, в которой они

реализуются. Так сжигание горючих отходов проводят в окислительной атмосфере, газификацию – в частично окислительной, пиролиз – в неокислительной (без доступа воздуха). Окислительная, нейтральная, восстановительная атмосфера или ее отсутствие (вакуум) характерны также и для термических способов переработки негорючих отходов.

Большой вклад в развитие процессов и аппаратов для термического обезвреживания отходов внесли зарубежные ученые Thomé-Kozmiensky Karl J., Bilitewski B., Faulstich M., Urban A., Igelbüscher A., Wünsch Ch., Hoffmann G., Gerde Ch. и др.

Среди российских ученых следует отметить работы Гонопольского А.М. (2010), Дыгана М. М.(2012), посвященные проблемам экологической безопасности мусоросжигательных заводов. Их исследования были направлены на изучение допустимости размещения МСЗ на урбанизированных территориях при переменной производительности по сжиганию ТБО. В работе Тугова А.Н. (2012) разработаны технологические основы экологически безопасного метода энергетической утилизации ТБО для создания отечественной ТЭС на ТБО с учетом мирового опыта. Разработке процессов комплексной очистки дымовых газов, образующихся при сжигании твердых бытовых отходов в своих работах уделили внимание Бородина Е.В. (2006), Косых В.А. (2012). Исследования были направлены на детоксикацию твердых остатков газоочистки с фильтров мусоросжигательных заводов и очистку дымовых газов от оксидов азота и продуктов неполного сгорания.

Вопросам термодинамического анализа огневой переработки твердых бытовых отходов посвящена работа Балан Р.К. (2010). Работа Подлесной Т.А. (2008) посвящена разработке научно-технических основ расчета и проектирования газотурбинной установки на твердом топливе с реактором-газификатором ТБПО и низкосортных твердых топлив.

Сжигание является распространенным методом термической переработки отходов. Он реализуется при температурах не ниже 600 °С и относится к окислительным термическим процессам автогенного характера. Автогенность означает, что теплоты, выделяемой при окислении, достаточно для поддержания горения и что дополнительного топлива для этого не требуется. В среднем можно принять, что в результате полного сгорания богатых органическими веществами хозяйственных отходов объем отходов уменьшается на 90 %, а их вес – на 75 %. Если принять, что первоначальный объем веществ – 100 %, тогда их объем после сжигания: для органических растворов 0,1–0,2 %; для органических твердых веществ 2,0–5,0 %; для твердых бытовых отходов 5,0–15,0 % [14].

Как метод переработки сжигание используют для частично отсортированных отходов, в составе которых не больше 10–15 % несгораемого материала. Для сжигания можно использовать органические отходы с высокой теплотворной способностью. При сгорании органической части отходов образуются диоксид и оксид углерода, пары воды, оксиды азота и серы, аэрозоли. Область применения термических методов ограничивается свойствами продуктов реакции. Их нельзя использовать для переработки отходов, если последние содержат фосфор, галогены, серу. В этом случае могут образовываться продукты реакции, например, вторичные чрезвычайно токсичные вещества (полихлорированные бифенилы (ПХБ), полихлорированные и полибромированные диоксины и дибензофураны (ПХДД, ПБДД, ПХДФ, ПБДФ)), выделяемые вместе с тяжелыми металлами в окружающую среду с дымовыми газами, сточными водами и шлаком.

Следует отметить, что хлорорганические вещества, часто называемые словом «диоксины», относятся к группе супертоксикантов, крайне устойчивых и чрезвычайно опасных, поскольку разрушают гормональную систему человека, приводят к

иммунодефициту, росту онкологических болезней, детской смертности и инвалидности, снижению рождаемости. 25 мая 2002 г. в Стокгольме была принята Глобальная международная конвенция о запрещении стойких органических загрязнителей. В группу из 12 особоопасных веществ, включенных в перечень, входят указанные диоксины, фураны и бифенилы. Диоксинообразующими компонентами отходов являются такие материалы как поливинилхлорид, линолеум, упаковочный
картон, пластмассы и т.п.

Сложной задачей при эксплуатации таких заводов, наряду с очисткой отходящих газов, является утилизация и захоронение токсичной золы и шлака, остающихся после сжигания (до 30 % от сухой массы ТБО). Концентрация оксидов тяжелых металлов в них на 2–3 порядка выше, чем в сжигаемых отходах [38].

В настоящее время для переработки токсичных шлаков исполь-
зуется технология экобетонирования: смешение шлаков после их нейтра-
лизации с цементом, известью или диоксидом кремния с последую-
щим отвердением смеси. В настоящее время разрабатывается усовер-
шенствованный метод экобетонирования – интегральная минерально-матричная технология (ИММ-технология), которая должна обеспечить экологическую безопасность получаемого материала за счет химического связывания загрязнителей вплоть до их включения в кристаллическую решетку цементирующих новообразований (например, тяжелых металлов) либо блокировки загрязнителей коллоидно-дисперсными и золь-гелевыми фазами в массе формирующего материала [38].

Твердые бытовые отходы могут сжигаться в установках разного типа, включая установки с движущейся колосниковой решеткой и с вращающимися печами, а также установки с кипящим слоем.

Основным полезным продуктом сжигания отходов является обычно тепло отходящих газов, используемых как вторичные энергетические ресурсы для выработки пара, электроэнергии, горячей воды для производственных и бытовых нужд. В табл. 1.4 представлены достоинства и недостатки метода сжигания для утилизации отходов.

Газификация как индустриальная технология применяется для переработки твердых, жидких и пастообразных отходов. В частности, она широко используется в металлургии для получения горючих газов из бурого высокозольного угля.

Таблица 1.4

Достоинства и недостатки сжигания

Достоинства	Недостатки
1. Позволяет единовременно избавиться от больших объемов отходов	1. Снижение выбросов отходящих газов за счет усовершенствования их промывки и очистки не ведет к уменьшению количества токсичных остаточных материалов, но лишь переводит их в золу и создает проблемы безопасного размещения токсичной золы и загрязнения сточных вод
2. Удобно в больших городах и на крупных предприятиях,	2. В ходе использования муниципальных МСЗ и установок для термической переработки отходов невозможно

так как позволяет избавляться от отходов по мере их поступления.	обеспечить однородного потока материалов со стандартной теплотворной способностью. Состав отходов постоянно меняется – как по теплотворной способности, так и по содержанию влаги. В результате возникают сложности с поддержанием в этих установках постоянных условий сжигания, необходимых для минимизации токсичности выбросов
3. Снижение объема отходов на 90-95 %	3. После сжигания отходов остаётся высокотоксичный пепел, который, впоследствии, тоже приходиться утилизировать одним из выше перечисленных способов
4. Использование тепловой энергии, производство электричества	4. Трудно осуществлять контроль за попаданием на установку по термической обработке запрещенных токсичных отходов или таких материалов, как поливинилхлорид, которые могут при сжигании давать большое количество диоксинов [6]
	5. Дорогостоящая газоочистка ухудшает экономические показатели таких заводов

Сущность газификации заключается в обработке углеродсодержащего вещества (угля) при 600–1100 °С водяным паром, кислородом (воздухом) или диоксидом углерода. В результате соответственно паровой, кислородной, углекислотной или комбинированной конверсии угля образуется равновесная смесь вновь образованных (водород, оксид углерода) и исходных газов. Эта смесь (генераторный газ, синтез-газ), включающая продукт неполного окисления угля (оксид углерода), а также водород, обладает восстановительным потенциалом и используется как газообразное топливо. Синтез-газ может содержать туман жидких смолистых веществ, однако его восстановительный потенциал практически исключает наличие в нем оксидов серы и азота.

Генераторный газ, полученный при газификации на воздушном или паро-воздушном дутье, вследствие значительного содержания азота имеет низкую (3,5–6 МДж/м) теплоту сгорания. Он обычно используется по месту получения в низкотемпературных технологических процессах. Газ паро-кислородной конверсии более калориен (до 16 МДж/м), поэтому может применяться как технологическое топливо для высокотемпературных печей и транспортируется на значительные расстояния от газогенераторной станции. Он является также ценным химическим сырьем (содержание Н2 и СО доходит до 70 %).

Систер В.Г. и др. (2007) предложили способ безотходной переработки балластной фракции твердых коммунальных отходов в синтез-газ в расплаве металла с получением композиционных строительных материалов. Исследование эжекторной камеры сгорания пиролизных газов при газификации твердых бытовых отходов проведено в работе Нефёдовой Ю.А. (2004). Разработке энергетической технологии газификации твердого топлива посвящена работа Сучкова С.И. (2011). В труде впервые осуществлены экспериментальные исследования газификации разнообразных видов твердого топлива, а также горючих отходов с низкой реакционной способностью (нефтяного кокса, коксо-графитных отходов электродного производства). Газификация органических веществ в шахтных реакторах рассмотрена в работе Любиной Ю.Л. (2000).

Основным преимуществом газификации является то, что получаемые горючие газы могут быть использованы в качестве топлива, а получаемая смола может быть использована как

топливо или химическое сырье. К недостаткам можно отнести, что при газификации с использованием воздушного и паровоздушного дутья получают генераторный газ с низкой теплотой сгорания 3,5–6 МДж/м. Такой газ непригоден для транспортировки и может быть использован только на месте получения. Процесс газификации пригоден для переработки дробленых сыпучих газопроницаемых отходов. Пастообразные и крупногабаритные отходы не могут перерабатываться этим способом.

Пиролиз как способ нагревания органических веществ до относительно высоких температур без доступа воздуха сопровождается разложением высокомолекулярных соединений на низкомолекулярные, жидкую и газообразную фракции, а также коксованием и смолообразованием. Его используют при сухой перегонке древесных отходов, переработке резино-технических изделий, нефтепродуктов и т.д.

Процесс пиролиза твердых органосодержащих отходов поднимается в исследовании Копачёва А.Г. (2001). В работе рассмотрены вопросы совершенствования технологии и оборудования для экологически безопасной переработки твердых органосодержащих отходов коммунального хозяйства методом среднетемпературного пиролиза. Энергетической эффективности сжигания твердых бытовых отходов для использования теплоты в децентрализованном теплоснабжении в процессе пиролиза посвящена работа Леппик В.А. (2008)

В зависимости от температуры реализации различают три вида пиролиза: низкотемпературный, или полукоксование (не более 450–550 °С); среднетемпературный, или среднетемпературное коксование (до 800 °С); высокотемпературный, или коксование (900–1050 °С). С повышением температуры снижается выход жидких и увеличивается – газообразных продуктов. Поэтому низкотемпературный пиролиз обычно проводят для получения первичной смолы – наиболее ценного источника жидкого топлива и различных химических продуктов. Основная задача высокотемпературного пиролиза – получение высококачественного горючего газа. Твердый остаток (пиролизный кокс) используют в качестве заменителя природных и синтетических углеродсодержащих материалов, сорбента при очистке питьевых и сточных вод и т. д. При пиролизе протекают реакции коксо- и смолообразования, разложения высокомолекулярных соединений на низкомолекулярные, жидкую и газообразную фракции, а если углеводородные отходы содержат серу, то образуются также сероводород и меркаптаны. Оксиды азота и серы практически не образуются [39].

Газификация и пиролиз, сохраняя недостатки сжигания, связанные с необходимостью подготовки отходов, обязательной предварительной сортировки обладают следующими преимуществами, в первую очередь, заключающиеся в их эффективности с точки зрения предотвращения загрязнения окружающей среды. После пиролиза и газификации не остается биологически активных веществ, поэтому подземное складировании остатков отходов не наносит вред окружающей среде. Образующийся пепел имеет высокую плотность, которая резко уменьшает объем отходов. Также эти методы позволяют получить газообразные продукты, которые могут быть использованы в качестве сырья или извлечения тепловой энергии и производства электричества.

Недостатки термических методов в определенной степени решаются за счет организации селективного сбора отходов в местах их образования. При этом селективным сбором охвачены не только те или иные ценные компоненты (стекло, металлы, макулатура и др.), но и опасные отходы (отработанные сухие гальваноэлементы, отработанные ртутные лампы и др.). Современные мусоросжигающие заводы, использующие в качестве топлива подготовленные отходы, прошедшие тщательную сортировку, оборудованные

эффективной современной многоступенчатой системой очистки отходящих газов и термическим оборудованием, превратились сегодня в развитых странах не только в безопасный элемент систем удаления отходами, но и один из видов альтернативного источника энергии, отвечающего требованиям ресурсосбережения [22]. Практическое отсутствие раздельного сбора отходов и длительное время, необходимое для создания эффективной системы селективного сбора, связанное с низким экологическим сознанием жителей, ведет в настоящее время к значительному ограничению возможности использования термических технологий для прямого сжигания неподготовленных отходов в российских условиях.

1.4.4. Полигонное захоронение ТБО

Захоронением называют размещение отходов в специально спроектированных, поддерживаемых и контролируемых местах захоронения отходов, полигонах. Полигон захоронения ТБО – это комплекс природоохранных сооружений, предназначенных для складирования, изоляции и обезвреживания твердых бытовых отходов, обеспечивающий защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующий распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов. Основная задача при проектировании и эксплуатации полигонов заключается в изоляции отходов, продуктов их разложения и трансформации от окружающей среды при работе полигона и вечно после его закрытия.

Анализ практики складирования ТБО свидетельствует о том, что объекты захоронения являются источниками длительного негативного воздействия на окружающую среду (Brunner P., Baccini P., Bilitewski B., Krümpelbeck I., Вайсман Я.И., Коротаев В.Н. и др.).

Основными видами воздействия полигонов на окружающую среду являются: загрязнение атмосферного воздуха продуктами разложения отходов (биогаз), загрязнение подземных и поверхностных вод фильтратом полигона; загрязнение почв, бактериологическое заражение местности.

Основные принципы и методические подходы по реализации санитарно-гигиенического мониторинга полигонов разработаны Онищенко Г.Г., Потаповым А.И., Зайцевой Н.В,. Зомаревым А.М. Работы Andreas L., Laner D, посвящены оценке долгосрочных экологических рисков на полигонах захоронения отходов.

Для обеспечения безопасного захоронения отходов необходимо предусматривать проведение специальных мероприятий и применения защитных средств, получивших название барьеров. Мультибарьерная защита предусматривает использование комплекса организационных и технических мероприятий, направленных на снижение эмиссии загрязняющих веществ от полигона.

В работах Вайсмана Я.И., Тагиловой О.А., Шаимовой А.М., Ягафаровой Г.Г., и др. отражен принцип мультибарьерной экологической защиты полигонов ТБО, который заключается в определении качества отходов, поступающих на полигон, естественных условий площадки размещения полигона и разработке решений по строительству, эксплуатации и рекультивации полигонов, предусматривающими сокращение эмиссий или предотвращение их образования (системы сбора и очистки фильтрата, сбора и использования биогаза, установка водоупорных экранов и т.д).

Использование геохимических барьеров в практике захоронения отходов обосновано российскими и зарубежными учеными (Перельман А.И. (1961), Разнощик В.В. (1983), Максимович Н.Г. (1992), Блинов СМ., (2000).

Подробно исследованы и описаны процессы трансформации отходов в условиях складирования (Barber C., Christensen T., Рудакова Л.В., Зайцева Т.А. и др.).

Технологический процесс захоронения отходов проводится, как правило, картовым методом, что позволяет поэтапно вводить в действие природоохранные мероприятия, не дожидаясь завершения эксплуатации полигона в целом.

Различают 3 основных этапа существования полигона [40]:

первый этап – период работы полигона, который длится 15–20 лет. За это время происходит заполнение мощностей полигона отходами;

второй этап (его условно можно назвать биореактором) – период после закрытия полигона до времени затухания биохимических процессов в свалочном теле. В этот период процессы биохимического разложения вещества в теле полигона при отсутствии специальных технологических решений протекают естественным образом;

третий этап – период адаптации полигона к окружающей среде.

Общая продолжительность периодов биореактора и адаптации может достигать сотни лет. В целях сокращения времени естественной адаптации полигона, затрат по эксплуатации и снижения риска воздействия на окружающую среду современные технологии полигонного захоронения предусматривают разработку не только защитных мероприятий по снижению возможных загрязняющих выделений, но и организацию управления (ускорения или торможения) процессами естественной биодеградации материалов свалочного тела.

В настоящее время в мировой практике можно выделить два подхода к управлению процессами естественной биодеградации (анаэробной инертизации) свалочного грунта для достижения природоохранного эффекта на долгосрочный период – через ускорение (интенсификацию) или замедление (подавление) процессов биодеградации. Первый подход характеризуется интенсивными эмиссиями, но адаптация полигона к природной среде в этом случае проходит за короткий срок. При втором подходе жизненный цикл полигона существенно удлиняется, но загрязнение природной среды токсичными эмиссиями сводится к минимуму.

К методам инертизации свалочного грунта относятся:

– предподготовка ТБО перед размещением на полигоне, например механико-биологическая подготовка, смешанное захоронение (проектирование композитных смесей), введение комплекса ферментативных препаратов перед захоронением (ускорение биоразложения), термическая обработка;

– воздействие на свалочный грунт, например увлажнение свалочного грунта, путем рециркуляции фильтрата, поверхностных сточных вод (биореакторный полигон), аэрация свалочного грунта принудительная и путем естественного притока воздуха (полуаэробный полигон), введение добавок в свалочный грунт – ферментов катализаторов, микроорганизмов, подача дополнительных питательных веществ [40, 41].

Современные технологии полигонного захоронения отходов возможно разделить на 2 вида – пассивные и активные. Пассивные технологии – это технологии, предусматривающие инженерные мероприятия, направленные на предотвращение загрязнения окружающей среды продуктами разложения отходов. В первую очередь, это полигоны с пассивной системой дегазации и полигоны с управлением фильтрационными водами.

Полигоны с пассивной системой дегазации

Одним из главных инструментов предотвращения загрязнения окружающей среды эмиссиями биогаза на полигонах ТБО является дегазация. Дегазация позволяет уменьшить эмиссию метана и органических соединений; предотвратить газовые вспышки, взрывы и пожары, управлять миграцией биогаза. Выбор метода дегазации зависит от таких факторов, как конструкция и возраст свалки; тип отходов (содержание органических веществ); объем и глубина складирования; локальное состояние (геология, местоположение, использование прилегающей территории и демография). Но наиболее важным фактором является количество образующегося биогаза. Пассивные системы базируются на принципах природного градиента давления и механизмах конвекции, могут применяться для свалок объемом до 40 000 м3. [41]. Вопросы образования и использования биогаза с полигонов ТБО изучены в работах Marticorena A., Feliubadalo J., Лифшиц А.Б., Максимовой С.В., Лиллепярг Е.Р., Мироновым А.Б., Нетребиным Ю.Я., Алешиной Т.А., Шаимовой А.М, Пухнюк А.Ю. и др.

Полигоны с управлением фильтрационными водами

Одно из основных негативных воздействий полигона ТБО на окружающую среду связано с образованием фильтрационных вод за счет влажности отходов (40–70 %), инфильтрации атмосферных осадков, биохимических процессов, сопровождающихся образованием воды. Фильтрационные воды характеризуются высоким (в сотни раз превышающим ПДК) содержанием токсичных органических и неорганических веществ. Они, являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод в зоне влияния полигона практически на всех этапах его жизненного цикла, опасны в санитарно-эпидемиологическом отношении, так как могут содержать патогенные микроорганизмы. На полигоне обычно используются системы дренажных труб и трубопроводов для сбора и отведения фильтрата. Собранный фильтрат может подаваться на очистные сооружения (механической, биологической, физико-химической очистки) полигона, либо на городские очистные сооружения.

Загрязнители, содержащиеся в фильтрате полигонов, различны по своей природе, а состав их чрезвычайно обширен, что указывает на невозможность очистки фильтрата каким-либо одним способом. Возможные методы очистки фильтрата представлены в табл. 1.5.

Из таблицы видно, что для комплексной очистки фильтрационных вод необходимо сочетание различных методов очистки, включая биологические и физико-химические.

Таблица 1.5

Эффективность применения методов очистки от различных загрязняющих веществ [41]

Метод очистки	Взвешенные	ХПК	БПК5	Неорганический азот	NH4/NH3	Тяжелые	Хлорсодержащие	Растворимые соли

	вещества					металлы	соединения	
Биологический	–	+	+	+	+	–	–	–
Флокуляция	–	+	–	–	–	+	+	–
Адсорбция	–	+	–	–	–	+	+	–
Фильтрация	+	–	–	–	–	–	–	–
Окисление	–	–	+	–	–	–	+	+

Исследования российских ученых Гонопольского А.М., Николайкиной Н.Е., Вайсмана Я.И., Кушнир К.Я., Разнощик А.В., Глушанкова И.С., Юрьева Ю.Ю., Федорова П.М., Середа Т.Г. посвящены прогнозной оценки образования химического состава фильтрата и разработке
комплексной очистки стоков с полигонов захоронения твердых бытовых отходов. Среди зарубежных исследователей следует отметить труды Ganziani R., Belevi H., Kluge B., Koch S., Wolfgarten S, Mackenberg S.и др.

Начиная с 1990-х гг. происходит развитие активных технологий, основанных на снижении воздействия полигонов на окружающую среду посредством управления процессами, протекающими в теле полигона. Период активного разложения отходов снижается до 10–15 лет. Оптимизация процессов разложения отходов приводит к увеличению объемов образования биогаза на ранних стадиях жизненного цикла полигона по сравнению с пассивными технологиями, что позволяет повысить эффективность его сбора и использования. К активным технологиям относятся технология «полигон-биореактор», полигон с аэробной стабилизацией отходов, полигон с аэробной и анаэробной стабилизацией отходов (semi-landfill).

Полигон с аэробной стабилизацией отходов

В трудах Stegmann R. (2003), Hantsch S. (2003), Ritzkowski M. (2005), Prantl R. (2007) в лабораторных и полевых условиях была исследована технология аэрации полигона захоронения ТБО с использованием низкого давления, как метода долгосрочной стабилизации органического вещества в свалочном грунте. Крупномасштабные испытания по ускорению процессов биологической стабилизации отходов на полигонах Германии и Италии описываются в работах Heyer K.-U. (2003),
Cossu R. (2003).

На полигоне с применением аэробной стабилизацией отходов предусматривается подача воздуха в тело полигона. Аэробная стабилизация полигона представляет собой простой, практичный и экономичный способ захоронения отходов, обеспечивающий успешное удовлетворение экологических требований. Аэробная среда способствует быстрому росту микроорганизмов, потребляющим клетчатку, и повышению температуры внутри полигона, вызывая тем самым увеличение скорости окисления твердых органических отходов. Аэробные процессы протекают быстрее по сравнению с анаэробными и идут до образования конечных продуктов разложения органических веществ – CO_2, H_2O,NH_3, H_2S.

«Полигон-биореактор»

Технология «Полигон-биореактор» основана на применении контролируемого увлажнения отходов. Данный термин имеет австрийское происхождение, всвязи с имеющейся в Австрии классификацией полигонов Hodecek (1990). Увлажнение полигона приводит к ускорению процессов разложения отходов и скорейшей стабилизации полигона. Также усиленный водооборот способствует извлечению загрязняющих веществ. Исследования, проведенные в течение последних трех десятилетий Pohland (1980 и 1996). Ham и Bookter (1982), Reinhart и Townsend (1998). Warith (2000), Drees K.Th. (2000), Kjeldsen и др. (2002), Benson и др. (2007), Vázquez R.V. (2008), Nguyen X.H. (2011) были направлены на определение основных параметров, которые влияют на процесс ускорения стабилизации отходов.

Полигон с аэробной и анаэробной стабилизацией отходов (semi-landfill)

Полигон с аэробной и анаэробной стабилизацией отходов включает последовательное анаэробное и аэробное разложение отходов. Изначально инициируется ускоренное анаэробное разложение отходов за счет орошения полигона. Эта стадия длится от 5 до 10 лет, при этом образование метана ничтожно мало. На второй стадии в тело полигона подается воздух, этот этап характеризуется низкими показателями образования фильтрата, ускорением процесса стабилизации отходов, большими объемами образования биогаза с низким содержанием CH4. Matsufuji Y. (1996), Matsufuji Y., Tanaka A. (2004) был исследован процесс стабилизации отходов в лабораторном масштабе и на полигоне в Малайзии с использованием метода «Фукуока» для установления общей стоимости захоронения отходов на санитарном полигоне в развивающихся странах. В работе Li H., Chi ZF, Lu W.J., Wang H.T. (2013) приводятся сведения по уменьшению выбросов CH4 в полу-аэробных услових полигона в Китае с целью установления воздействия условий эксплуатации полигона на численность и структуру метанотрофных бактерий в поверхностном слое свалочного грунта.

В работе Армишевой Г.Т. (2008) разработан способ рекуперации участка захоронения отходов, позволяющий многократно использовать площадки захоронения ТБО. Полезное использование техногенных территорий полигонов ТБО и свалок становится возможным только после их рекультивации. Под рекультивацией полигонов хранения отходов понимается в основном комплекс работ по устройству системы поверхностной изоляции, созданию плодородного корне-обитаемого почвенного слоя и восстановлению живых компонентов биоты (микроорганизмы, грибы, высшие растения), так называемая биологическая рекультивация. Пострекультивационное использование территорий полигонов ТБО возможно по различным направлениям – лесохозяйственным, рекреационным (лыжные горки, стадионы, спортивные площадки), гражданского строительства, создания коммерческих или промышленных зон (склады, автостоянки, легкие конструкции). Характер такого использования и расходы на рекультивацию должны учитываться еще на стадии проектирования полигона.

Достоинствами полигонного захоронения ТБО, как метода утилизации, являются, относительно невысокая энергоемкость процесса, незначительные затраты труда и относительно невысокая стоимость размещения ТБО, по сравнению с другими методами, простота организации. К недостаткам полигонов можно отнести: использование значительных территории, которые выводятся из использования на десятки лет, риск загрязнения окружающей среды при нарушении техники эксплуатации, длительный период действия активных процессов в теле полигона, продукты которых являются потенциальными загрязнителями.

Анализ тенденций обращения с ТБО за последние 20 лет свидетельствует об устойчивой тенденции к снижению объемов захоронения отходов. Так целью Директивы по полигонам захоронения отходов ЕС N 1999/31/ЕС является уменьшение количества, захораниваемых отходов, за счет введения ограничений по содержанию биоразлагаемых отходов и запрета захоронения предварительно необработанных отходов. Полигонное захоронение является наименее предпочтительным вариантом утилизации отходов, согласно принятой иерархии методов. Во всем мире вырастает доля термической обработки отходов, направленной на использование энергетического потенциала и доля использования вторичного сырья. Несмотря на данные тенденции, полигоны остаются и еще долгое время будут оставаться необходимым звеном в любой системе управления отходами. В России при сложившихся экономических и природоохранных условиях, полигонное захоронение на ближайшие 20 лет останется основным методом утилизации твердых бытовых отходов.